



Wertstoffhöfe, Gelber Sack und Wertstofftonne

Eine Ökoeffizienz- und Akzeptanzanalyse für Bayern am
Beispiel Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten

Thorsten Pitschke, Dr. Michael Schneider
Dr. Siegfried Kreibe, Dr. Jochen Cantner
Dr. Malgorzata Kroban, Stefanie Müller
Prof. Dr. Frank Oerthel, Prof. Dr. Martin Göbl

Finanziert durch



Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Gesundheit



Projektpartner



Impressum

Alle Rechte (insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung) sind vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil der bifa-Texte darf in irgendeiner Form ohne Genehmigung der Herausgeber reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Herausgeber
bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46
86167 Augsburg

Verfasser
Thorsten Pitschke, Dr. Michael Schneider
Dr. Siegfried Kreibe, Dr. Jochen Cantner
Dr. Malgorzata Kroban, Stefanie Müller
Prof. Dr. Frank Oerthel, Prof. Dr. Martin Göbl

Finanziert durch
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit

Projektpartner
ZAK Kempten
Hochschule Kempten

Druck
Klicks GmbH

1. Auflage 2011
© bifa Umweltinstitut GmbH

Wertstoffhöfe, Gelber Sack und Wertstofftonne

Eine Ökoeffizienz- und Akzeptanzanalyse für Bayern am
Beispiel Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten

Thorsten Pitschke, Dr. Michael Schneider
Dr. Siegfried Kreibe, Dr. Jochen Cantner
Dr. Malgorzata Kroban, Stefanie Müller
Prof. Dr. Frank Oerthel, Prof. Dr. Martin Göbl

Finanziert durch



Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Gesundheit



Projektpartner



INHALTSVERZEICHNIS

1	Kurzfassung	1
2	Projekthintergrund und Zielsetzung	6
3	Methodische Grundlagen.....	6
4	Untersuchungsrahmen	8
5	Entsorgung LVP und StNVP.....	10
6	Entsorgung Hausmüll	15
7	Äquivalenzsysteme	17
8	Ergebnisse: Ökobilanzieller Szenarienvergleich.....	18
9	Ergebnisse: Entsorgungskosten.....	26
10	Ergebnisse: Ökoeffizienzanalyse	28
11	Ergebnisse: Quantitative Befragung	31
12	Transfer auf die LVP-Erfassung in Bayern.....	40
13	Fazit: Chancen und Risiken	45
14	Literatur	47
15	Anhang: Ökoeffizienzanalyse.....	48

1 Kurzfassung

Untersuchungsrahmen

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde eine Evaluierung des Wertstoffhofsystems zur Erfassung von Leichtverpackungen (LVP) und stoffgleichen Nichtverpackungen (StNVP) im Vergleich mit alternativen Wertstofffassungssystemen durchgeführt. Die Untersuchung umfasst eine Ökoeffizienzanalyse und eine Befragung von Bürgern zur Ermittlung des Nutzerverhaltens sowie der Akzeptanz. Die Untersuchung wurde am Beispiel des ländlich-dicht besiedelten Entsorgungsgebietes des Zweckverbands für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK) durchgeführt.

Die folgenden vier Szenarien sind Gegenstand des Vergleichs.

- **Szenario WSH alt:** Sortenreine LVP-Erfassung im Bringsystem
- **Szenario WSH neu:** Gemischte Erfassung von lizenzierten Kunststoffverpackungen und Flüssigkeitskartons im sogenannten Wertstoffsack als Bringsystem)
- **Szenario Gelber Sack:** Gemischte Erfassung von LVP im Holsystem
- **Szenario Wertstofftonne:** Gemischte Erfassung von LVP und StNVP im Holsystem.

Basis für den Szenarienvergleich ist jeweils eine Abfallmenge von 28,3 kg/Ew, die in der szenarienspezifischen Zusammensetzung folgender Stoffströme betrachtet wird:

- Wertstoffe aus getrennter Sammlung für die Dualen Systeme (lizenzierte LVP-Verpackungen bzw. Fehlwürfe),
- getrennt erfasste, tonnengängige StNVP (im Fall des ZAK nur kleinteilige Metalle) und
- Hausmüllanteile (enthalten u.a. auch LVP und StNVP).

Durch Einführung der gemischten LVP-Erfassung im Bringsystem und durch die Erfassung im Holsystem lassen sich die Sammelmengen an Wertstoffen, im Vergleich zur sortenreinen Erfassung im Bringsystem durch Mobilisierung von Wertstoffanteilen aus dem Hausmüll steigern. Parallel steigt die miterfasste Menge an Hausmüllbestandteilen, die als Reste aus der Sortierung einer Beseitigung zugeführt werden müssen. Die folgende Abbildung illustriert das Wechselspiel der zu berücksichtigten Stoffströme.

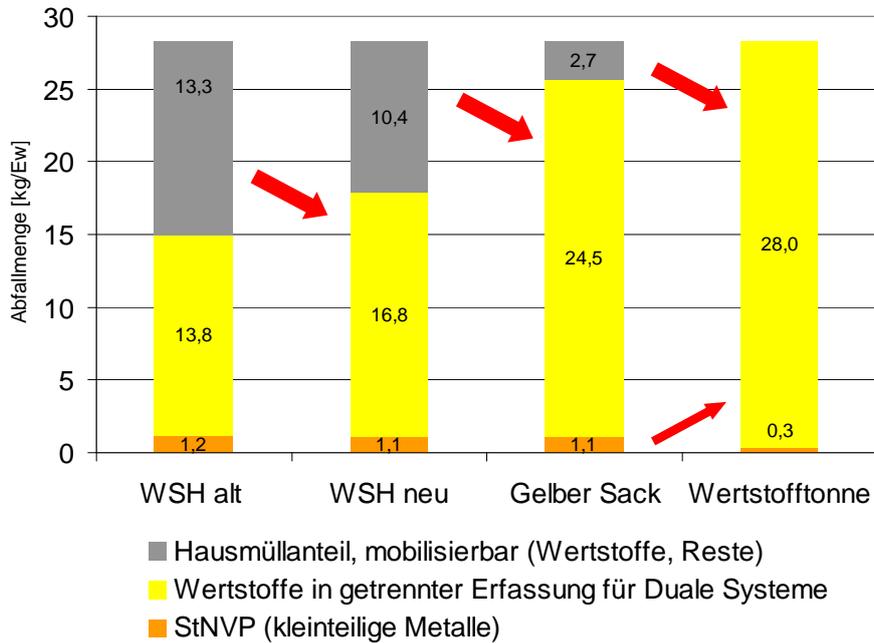


Abbildung 1: Sammelmengen für Wertstoffe aus getrennter Sammlung für die Dualen Systeme (inklusive Fehlwürfe), StNVP erfasst über das Wertstoffhofsystem und mobilisierbare Hausmüllanteile.

Die Steigerung der Wertstoffmengen beruht wesentlich auf zusätzlich erfassten Kunststoffmengen aus dem Hausmüll, die überwiegend in die Fraktion Mischkunststoffe sortiert werden. Von geringerer Bedeutung sind die jeweiligen Mehrmengen an hochwertigen Verpackungskunststoffen. Die Mengen an getrennt erfassten Verpackungen und Nichtverpackungen aus Metallen sind in den Szenarien nahezu konstant. Nur für das Szenario Wertstofftonne ergibt sich hier ein geringer Zuwachs.

Die konkrete Ausgestaltung der Szenarien für den Ökoeffizienzvergleich umfasst neben der Erfassung auch die gesamte weitere Entsorgungskette für die betrachteten Materialströme.

Ergebnis der Ökoeffizienzanalyse

Die Ökoeffizienzanalyse stellt das Ergebnis der ökobilanziellen Betrachtung zur Ermittlung der Gesamtumweltwirkung (Ökologie-Index) den mit der Entsorgung verbundenen spezifischen Kosten für den ZAK gegenüber. Je höher der Ökologie-Index eines Verfahrens ist, desto höher sind die mit der Entsorgung verbundenen Umweltwirkungen. Negative Ökologie-Indizes stehen für Umweltenlastungen. Für die Darstellung im Ökoeffizienz-Portfolio sind der Ökologie-Index und die Gesamtkosten des Szenarios WSH alt gleich Null gesetzt. Die weiteren Szenarien platzieren sich entsprechend ihrer prozentualen Abweichungen vom Szenario WSH alt.

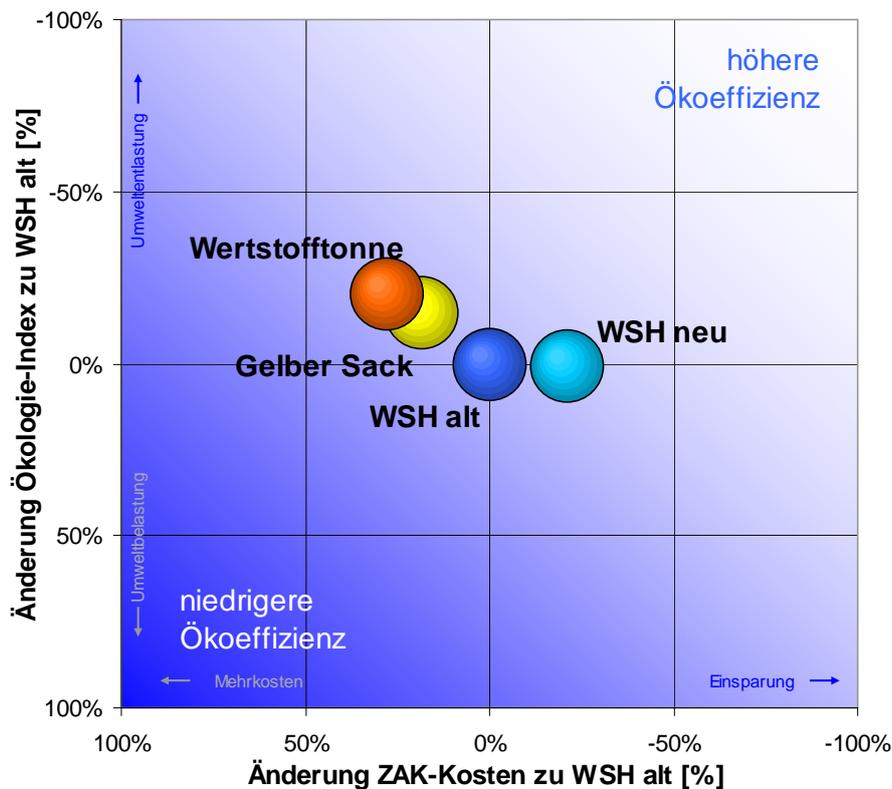


Abbildung 2: Ökoeffizienz-Portfolio. Darstellung der Szenarien im Vergleich zum Szenario WSH alt. Bezugs-einheit: Entsorgungsleistung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Auftei-lung hochgerechnet auf alle Einwohner im Verbandsgebiet des ZAK.

Im Vergleich der Erfassungssysteme ist das Szenario WSH neu die ökoeffizienteste Lösung. Die Ökoeffizienz des Szenario WSH alt ist ähnlich denen der Holsystem-Szenarien. Im Vergleich der Holsystem-Szenarien sind keine signifikanten Unterschiede in der Ökoeffizienz der Szenarien Gelber Sack und Wertstofftonne auszuweisen.

Im Fokus der Kostenbetrachtung stehen die einzelwirtschaftlichen Kosten des ZAK. Dies sind die Aufwendungen u.a. für die LVP-Erfassung an den Wertstoffhöfen oder die Entsorgung der relevanten Hausmüllanteile und Kostenerstattungen zwischen den Dualen Systemen und dem ZAK für gewährte Dienstleistungen. Dagegen sind weitere einzelwirtschaftliche Kosten, welche bei den übrigen System-beteiligten anfallen (insbesondere die Kosten des Bringsystems für die Bürger, Kosten/Erlöse der Ent-sorgung durch die Dualen Systeme) nicht berücksichtigt. Ersichtlich ist, dass das Szenario WSH neu für den ZAK die kostenmäßig günstigste Variante darstellt. Demgegenüber würde das Szenario Wertstoff-tonne eine Verteuerung um rund 60 Prozent bedeuten. Als etwas günstiger stellen sich die Kosten des Szenarios Gelber Sack dar, da im Vergleich zum Szenario Wertstofftonne für den ZAK insbesondere keine Dienstleistungskosten für die Dualen Systeme anfallen.

In allen Szenarien zur Wertstoffeffassung überwiegen die Umweltentlastungen aus der Bereitstellung von Sekundärprodukten und -energie die mit der Erfassung und Entsorgung verbundenen Umweltbe-lastungen. Der Ausbau der getrennten Wertstoffeffassung und die Vermeidung von Emissionen im Be-reich der Erfassung führen zu umweltbezogenen Vorteilen für die Holsystem-Szenarien im Vergleich zu den Bringsystem-Szenarien. Das Szenario Wertstofftonne hat vor dem Szenario Gelber Sack die höchst-

te Umweltentlastung. Die Umweltentlastungen in den Szenarien mit Bringsystem sind nahezu identisch.

In allen Szenarien bestimmen die Erfassung und die Verwertung von LVP die Umweltbelastungen. Die Umweltentlastungen werden bestimmt durch die Gutschriften aus der Substitution von Primäraluminium und -stahlherstellung und durch die Substitution des Einsatzes fossiler Energieträger im Rahmen der energetischen beziehungsweise rohstofflichen Verwertung. Die Steigerung der Sammelmengen in den Holsystemen führt im Wesentlichen zu größeren Mischkunststoffmengen beziehungsweise einer geringen Steigerung an hochwertigen Verpackungskunststoffen und Aluminium-Anteilen. Die Nutzen aus der Verwertung dieser zusätzlich getrennt erfassten Anteile schafft letztendlich die geringeren umweltbezogenen Vorteile für die Bringsysteme.

Die Zuordnung der Umweltauswirkungen aus Transporten zum Wertstoffhof auf die LVP-Fractionen basiert auf Annahmen. Rechnet man in einer Sensitivitätsanalyse der LVP-Erfassung im Bringsystem nur minimale Anteile der Transportaufwendungen zu, verringert sich die Belastung aus der LVP-Erfassung. Der Ökologie-Index für die Bringsystemszenarien verbessert sich so und der Unterschied zu den Holsystemszenarien verringert sich weiter.

Quantitative Befragung zu Akzeptanz und Nutzung

Im Rahmen des Projekts wurden über 700 Bürger an Wertstoffhöfen und in Ortszentren zu Nutzerverhalten und Akzeptanz des Wertstoffhofsystems befragt. Die durchgeführte Befragung liefert in der realisierten Tiefe und Belastbarkeit erstmalig Informationen zu Nutzung und Akzeptanz des Bringsystems zur LVP-Erfassung in einer bayerischen Gebietskörperschaft. Die Befragungsergebnisse bilden die Grundlage zur Ermittlung der Umweltwirkungen aus der LVP-Erfassung an den Wertstoffhöfen beziehungsweise -inseln im Rahmen der Ökoeffizienzanalyse.

Die folgende Abbildung zeigt die Nutzung verschiedener Möglichkeiten zur Wertstoffsammlung im ZAK. Wie nicht anders zu erwarten, nutzten die an Wertstoffhöfen Befragten diese auch zu 100%, und fast ebenso viele (97,8%) nannten den Wertstoffsack („Grüner Sack“). Demgegenüber gaben „nur“ neun von zehn Befragten (92,3%) aus Ortszentren an, den WSH zu nutzen – und 85,3% von ihnen „bekannt“ sich auch zum Wertstoffsack. Dieses „weniger“ an WSH und Wertstoffsack wird offensichtlich stärker über die Wertstoffinseln kompensiert: Während nämlich „nur“ zwei von drei WSH-Befragten (68,4%) auch die Inseln nutzen, tun dies deutlich mehr Befragte (81,3%) aus den Ortszentren.



Abbildung 3: Nutzung der Komponenten des ZAK-Erfassungssystems. WSH: Befragung am Wertstoffhof. ORT: Befragung in Ortzentrum. Angaben in Prozent der jeweils Befragten.

Die folgende Tabelle fasst wesentliche Ergebnisse zur Nutzung von Wertstoffhöfen und –inseln zusammen.

Tabelle 1: Nutzung von Wertstoffhöfen und –inseln.

	Wertstoffinseln	Wertstoffhof (WSH)
Besuchsfrequenz	0,81-mal pro Woche	0,56-mal pro Woche
Transportmittel	55 % mit Pkw 42 % zu Fuß	97 % mit Pkw
Durchschnittlich einfach zurückgelegter Weg	0,6 km	3,0 km
Kombinationen der Fahrt mit anderen Erledigungen	58 % nur zur Insel 42 % Kombination	39 % nur zum WSH 61 % Kombination

Die Ergebnisse zeigen, dass das aktuelle (Bring-)System des ZAK intensiv genutzt und sehr positiv beurteilt wird. 83 % der Befragten bewerten das aktuelle System (WSH neu) auf einer Zufriedenheits-Skala von 1 „völlig zufrieden“ bis 5 „sehr unzufrieden“ mit den Werten 1 und 2; nur 5% sind (sehr) unzufrieden. Zudem halten 89 % der Befragten das heutige System „insgesamt für besser“ als die Situation vor dem 1. Januar 2010, als es noch keinen Wertstoffsack gab (WSH alt).

Werden die Befragten allerdings vor die Wahl gestellt, statt des Wertstoffsacks eine Gelbe Tonne oder Gelbe Säcke mit kostenloser Abholung zu nutzen, möchte nur noch etwa ein Drittel (35%) den Wertstoffsack behalten. Etwa genauso viele würden die Gelbe Tonne (36%) präferieren, etwas weniger (29%) den Gelben Sack. Dies bedeutet, dass eine deutliche Mehrheit der Befragten (65%) ein Holsystem bevorzugt. Dennoch haben auch Bringsysteme durchaus ihren Platz – mit Blick auf die Soziodemographie vor allem bei Männern, bei Personen im Alter zwischen 50 und 70 sowie bei Bewohnern von Einfamilienhäusern.

Wird den Befragten die Wertstofftonne als Alternative zum aktuellen Bringsystem angeboten, entscheiden sich spontan 38% dafür; das aktuelle ZAK-System fällt dann von 35% auf 29% zurück, und die Gelben Systeme kommen nur noch auf 33%. Auch wenn die Wertstofftonne vielen zumindest

spontan zu gefallen scheint, löst sie doch gleichzeitig starke Bedenken, wenn nicht sogar Unbehagen aus; denn sie widerspricht dem etablierten und als positiv empfundenen Gedanken der Abfalltrennung. Möchte man die Wertstofftonne also tatsächlich flächendeckend einführen, so wäre beim Bürger intensive Überzeugungs- und Aufklärungsarbeit – insbesondere über die Leistungsfähigkeit moderner Sortieranlagen – zu leisten.

2 Projekthintergrund und Zielsetzung

Wertstoffhöfe haben in vielen Städten und Landkreisen Bayerns eine zentrale Bedeutung. Diese Besonderheit der bayerischen Entsorgungsstruktur hat spezifische Vorteile, wird in gewissen Bereichen aber auch immer wieder in Frage gestellt. Hochentwickelte Sortiertechnologien bieten neue Perspektiven bei der Trennung von Wertstoffgemischen. Die Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts forciert die Diskussion über die Einführung einer Wertstofftonne. Vor diesem Hintergrund ist eine Evaluierung des Wertstoffhofsystems hinsichtlich seiner Ökoeffizienz, der Akzeptanz bei der Bevölkerung und der Vergleich mit alternativen Wertstofffassungssystemen erforderlich, um Grundlagen für abfallwirtschaftliche Entscheidungen der Staatsregierung wie auch der entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften zu erhalten.

Die Zielsetzung des Vorhabens ist es, entscheidungsrelevante Informationen über die Ökoeffizienz des Wertstoffhofsystems, über mögliche Ansätze zur Weiterentwicklung des Wertstoffhofsystems, das Nutzerverhalten und die Nutzerakzeptanz für das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) sowie für den Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK) und andere entsorgungspflichtige Gebietskörperschaften Bayerns bereitzustellen.

Zur Realisierung der Untersuchungsziele wurden eine Ökoeffizienzanalyse des Wertstoffhofsystems, eine Analyse der Akzeptanz und des Nutzerverhaltens der Bürger sowie ein Ökoeffizienzvergleich mit zwei alternativen Systemen zur Wertstofffassung („Gelber Sack“ und „Wertstofftonne“) am Beispiel des ZAK durchgeführt. Zusätzlich erfolgt eine Analyse möglicher Auswirkungen der am Beispiel des ZAK Kempten untersuchten Wertstofffassungssysteme bei einem Transfer auf die LVP-Erfassung in Bayern.

3 Methodische Grundlagen

Die Ökoeffizienzanalyse basiert auf bereits vorhandenen Ökoeffizienzuntersuchungen des bifa zur bayerischen Entsorgungsstruktur. Die diesen Untersuchungen zugrunde liegenden Modelle wurden an die Verhältnisse im ZAK Kempten angepasst und auf Grundlage der Nutzerbefragungen, der Auswertung zur Verfügung stehender, aktueller Quellen und von Ergebnissen aus aktuellen bifa-Vorhaben erweitert und spezifiziert. Die folgende Abbildung zeigt die grundsätzliche Vorgehensweise zur Durchführung der Ökoeffizienzanalyse.

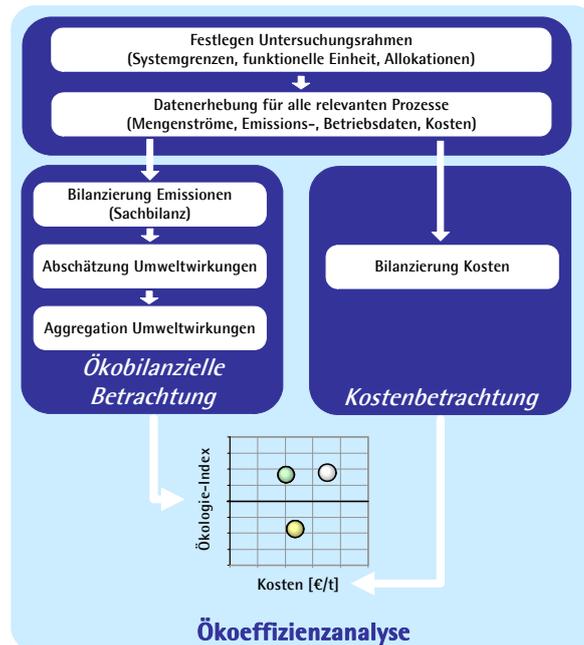


Abbildung 4: Vorgehensweise zur Durchführung der Ökoeffizienzanalyse.

Im Rahmen der Befragung wurde zunächst ein Leitfaden entwickelt und bei sechs Bürgern und Bürgerinnen eingesetzt. Die Auswertung dieser Interviews lieferte wichtige Hinweise für die Formulierung eines Leitfadens für die Tiefenexploration von Experten und eines quantitativen Fragebogens zur Repräsentativbefragung von Wertstoffhof-Nutzern und Bürgern in Ortszentren bzw. zu Hause.

Neben der Erhebung von Daten zu Einstellungen, Wissen und Verhalten der Befragten war es auch Ziel der Explorationen von sechs Bürgern, dass bei der Formulierung des quantitativen Fragebogens die Sprache der Zielgruppe getroffen wurde, dass Fragen und Antwortmöglichkeiten an die tatsächlichen Wahrnehmung der Befragten anschließen konnten und sie nicht in ihrem Antwortverhalten eingengt wurden. Mit dem ersten Entwurf des quantitativen Fragebogens wurden Pretests durchgeführt und der Fragebogen entsprechend modifiziert.

Mit der Durchführung der quantitativen face-to-face Interviews wurden sechs erfahrene und für das Projekt eigens geschulte Interviewer und Interviewerinnen des Mittelstandsinstituts an der Fachhochschule Kempten (MIT) beauftragt. Die Feldüberwachung erfolgte durch bifa-Mitarbeiter und die beiden Professoren des MIT. Die Feldzeit dauerte vom 26. Februar bis 3. Mai 2011. Die Analyse der erhobenen Daten erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS und wurde gemeinsam von bifa und dem MIT durchgeführt.

4 Untersuchungsrahmen

4.1 Wertstofffassung im ZAK

Das Entsorgungsgebiet des ZAK beträgt 1.900 km² und umfasst die Stadt Kempten, den Landkreis Oberallgäu sowie den Landkreis Lindau. Die Einwohnerzahl innerhalb des ZAK Verbandsgebietes lag im Jahr 2010 bei 291.895 Bürgern. Der ZAK unterhält 38 Wertstoffhöfe, über 500 Wertstoffinseln, 2 Vergärungsanlagen, 4 Kompostplätze und ein Müllheizkraftwerk. Die Abfallabfuhr innerhalb des Verbandsgebietes erfolgt durch private Transportunternehmen.



Abbildung 5: Verbandsgebiet des ZAK.

4.2 Szenarien zur LVP-Erfassung

Im Rahmen der Ökoeffizienzanalyse wurden vier Szenarien mit unterschiedlicher Gestaltung der getrennten Erfassung von LVP und stoffgleichen Nichtverpackungen (StNVP) aus Haushalten analysiert:

Szenario WSH alt: Sortenreine Erfassung von LVP im Bringsystem über das Wertstoffhof- und Wertstoffinselsystem des ZAK. Die Wertstofffassung wird durch die Erfassungsstruktur, die der ZAK bis zum 31.12.2009 anbot, charakterisiert.

Szenario WSH neu: Gemischte Erfassung von LVP im Bringsystem über das Wertstoffhof- und Wertstoffinselsystem des ZAK. Die Wertstofffassung wird durch die Erfassungsstruktur, die der ZAK seit dem 01.01.2010 anbietet, charakterisiert.

Szenario Gelber Sack: Gemischte Erfassung von LVP im Holsystem. Dieses Szenario ist fiktiv und ist kein strategisches Planungsszenario des ZAK. Die Wertstofffassung wird durch Annahmen, die auf das Verbandsgebiet des ZAK übertragen werden, charakterisiert. Die Szenariobezeichnung wird deshalb

gewählt, da nach Angaben des ZAK die Dualen Systeme im ZAK die kostengünstigere Sacklösung realisieren würden¹.

Szenario Wertstofftonne: Gemischte Erfassung von LVP und stoffgleichen Nichtverpackungen im Holsystem. Dieses Szenario ist fiktiv und ist kein strategisches Planungsszenario des ZAK. Die Wertstofferrfassung wird durch allgemeine Annahmen, die auf das Verbandsgebiet des ZAK übertragen werden, charakterisiert.

Die konkrete Ausgestaltung der Szenarien umfasst neben der Erfassung die gesamte weitere Entsorgungskette für die betrachteten Materialströme:

- Sortierung gemischt erfasster Fraktionen als Vorbereitung für die weitere Verwertung
- Stoffliche und energetische Verwertung der Wertstoffe
- Entsorgung von Resten aus der Sortierung und Verwertung
- Entsorgung von LVP und StNVP gemeinsam mit dem Restmüll
- Transporte von der Erfassung bis zur Bereitstellung von Sekundärprodukten
- Substitution von Primärmaterialien und -energie durch die aus der Verwertung erhaltenen Sekundärmaterialien und -energien

4.3 Wertstoff- und Abfallströme

Die gesamte Vielfalt der auf den Wertstoffhöfen des ZAK Kempten erfassten Wertstoffe wird im Rahmen dieses Vorhabens nicht komplett abgebildet. Die Untersuchung analysiert diejenigen Stoffströme, die im Fokus der Diskussion um die Wertstofftonne stehen: Verpackungsabfälle aus Haushalten aus den klassischen Leichtverpackungsmaterialien (Weißblech, Aluminium, Verpackungskunststoffe und Verbundmaterialien) und stoffgleiche Nichtverpackungen². Althölzer und Elektrokleingeräte werden als Stoffströme für eine Wertstofftonne zwar diskutiert, sind aber nicht Teil der ökobilanziellen Untersuchung.

Je nach Erfolg der betrachteten Strategie zur Wertstofferrfassung gehen die Materialströme der getrennten Wertstofferrfassung im jeweiligen Hol- oder Bringsystem zu oder werden von den Bürgern als Teil des Hausmülls der Restabfallentsorgung zugeführt. Besonders in den Holsystem-Szenarien, werden über die getrennte Wertstofferrfassung neben den Wertstoffen auch signifikante Mengen an Hausmüll als Fehlwürfe erfasst und später als Sortierreste entsorgt. Unter der Voraussetzung, dass für einen Szenarienvergleich stets eine konstante absolute Abfallmenge zu betrachten ist, muss in den Bringsystem-Szenarien auch die Entsorgung einer korrespondierenden Hausmüllmenge bilanziert werden. Die Wertstoffe und Abfälle zur Charakterisierung der Szenarien finden sich in den folgenden Stoffströmen wieder

- **Wertstoffe aus getrennter Sammlung für die Dualen Systeme**
getrennt erfasste LVP der Dualen Systeme (lizenzierte Verpackungen aus Kunststoffen,

¹ Mit dieser Festlegung der Szenarienbezeichnung sind keine weiteren Implikationen verbunden, die bei einer Betrachtung der Tonnenlösung („Gelbe Tonne“) zu abweichenden Ergebnissen für das Holsystem führen würden.

² Verpackungen aus PPK und Glas gehen eigenständigen Entsorgungswegen zu und stehen nicht im Fokus der Diskussion um die Wertstofftonne. Daher sind diese Abfallströme nicht Bestandteil der Betrachtung.

Weißblech, Aluminium, Flüssigkeitskartons und andere Verbundverpackungen) und Fehlwürfe (stoffgleiche Nichtverpackungen, nicht lizenzierte Verpackungen und Hausmüll) im Hol- oder Bringsystem

- **Stoffgleiche Nichtverpackungen (StNVP) getrennt erfasst über das Wertstoffhofsysteem**
 Stoffgleiche Nichtverpackungen und weitere Stoffströme, die im Zuge der Diskussion um die Wertstofftonne für eine Erfassung im Holsystem vorgeschlagen werden (Altholz, Elektroaltgeräte), werden derzeit im Wertstoffhofsysteem des ZAK getrennt erfasst. Im Rahmen der quantitativen Analyse wird die kleinteilige Fraktion der derzeit an den Wertstoffhöfen erfassten Schrottmenge berücksichtigt.
- **Hausmüllanteile mobilisierbar durch Ausbau der gemischten LVP-bzw. Wertstofferrfassung**
 enthalten neben den typischen Hausmüllanteilen auch LVP und StNVP

5 Entsorgung LVP und StNVP

5.1 Erfassung

5.1.1 Bringsysteme

Mit Blick auf die Erfassung der LVP ist zu unterscheiden:

- Transport von Wertstoffsäcken und Dosen durch die Bürger zu den Wertstoffhöfen
- Transport von Dosen und Flüssigkeitskartons durch die Bürger zu den Wertstoffinseln

Die aus Befragungsergebnissen und Allokationsannahmen abgeleiteten Beschreibungen der Transporte sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 2: Strecken für die Anlieferungen an die Wertstoffhöfe im Szenario WSH neu und WSH alt. Werte gerundet. Allokation Kombifahrten: 50% der Strecke wird dem Abfalltransport angerechnet

	Direkte Anlieferung an WSH	Kombifahrt WSH & andere Erledigungen
Pkw-Anteil an allen Anlieferungen	97 %	
	39%	61%
Anlieferdistanz direkte Anlieferung, einfach [km]	3	
Angenommener gemeinsamer Weg bei Kombifahrt, einfach		3
Durchschnittlicher Umweg für WSH bei Kombifahrt, einfach [km]		0,9
Pkw-Strecke pro Anlieferung [km], hin/zurück	6	4,0

Tabelle 3: Strecken für die Anlieferungen an die Wertstoffinseln im Szenario WSH neu und WSH alt. Werte gerundet. Allokation Kombifahrten: 50% der Strecke wird dem Abfalltransport angerechnet

	Direkte Anlieferung an WSI mit Pkw	Pkw- Kombifahrt WSI & andere Erledigungen	Nicht motorisierte Anlieferung
Anteil an allen Anlieferungen	58%		42%
	37%	63%	
Anlieferdistanz direkte Anlieferung, einfach [km]	0,9		0,26
Angenommener gemeinsamer Weg bei Kombifahrt, einfach		0,9	
Pkw-Strecke pro Anlieferung [km], hin und zurück	2	0,9	0

Die folgende Tabelle zeigt, welche Mengen an den Wertstoffhof beziehungsweise die Wertstoffinsel pro Fahrt angeliefert werden.

Tabelle 4: Angenommene Mengen pro Anlieferung. Durchschnittliche Besuche Wertstoffhof: 29,1/Ew*Jahr und durchschnittliche Besuche Wertstoffinsel: 42,4/Ew*Jahr. Gewicht eines durchschnittlichen Wertstoffsacks nach Angaben des ZAK: 1,5 kg

Anlieferung	Häufigkeit der Abgabe pro Ew und Jahr [Quelle: Befragung]	Menge pro Anlieferung [kg/Ew] WSH neu / WSH alt [Berechnung aus: Befragung, ZAK-Angaben und Annahmen]
Wertstoffhof		
Wertstoffsack (WSH neu) /	26,5	3
Sortenreine KS- und FKN-Fractionen (WSH alt)	26,5 ^{*)}	2

*) Annahme: Es besteht keine Unterschiede in der Anzahl der Anlieferungen zwischen den Szenarien WSH alt und WSH neu

Da sich die Ermittlung der Umweltwirkungen nicht auf alle am Wertstoffhof angelieferten Wertstoffe, sondern nur auf die angelieferten LVP-Fractionen bezieht, ist festzulegen, welcher Anteil der beschriebenen Transportaufwendungen einer Anlieferung dem LVP-Anteil zuzuordnen ist. Für die Anlieferung der LVP-Fractionen (Wertstoffsack beziehungsweise sortenreine Anlieferung) nimmt bifa näherungsweise an, dass auf diese 50% der Transportleistung einer Fahrt zum Wertstoffhof entfallen. Diese Annahme berücksichtigt zum Einen, dass der Wertstoffsack fast bei jeder Fahrt zum Wertstoffhof mitgebracht wird, während andere Verpackungen aus Metall, Glas oder Papier weniger oft angeliefert werden. Zum Anderen ist berücksichtigt, dass spezielle Fractionen (z.B. Grüngut, Sperrmüll), in der Regel in großen Mengen beziehungsweise Volumina angeliefert werden. Mitangelieferten Verpackungen ist in diesen Fällen keine Umweltlast aus dem Transport anzurechnen.

Die Sekundärlogistik, also der Transport der Abfälle von Wertstoffhof beziehungsweise Wertstoffinsel zur Aufbereitung, ist in der Bilanzierung berücksichtigt.

5.1.2 Holsysteme

Die Erfassung im Holsystem erfolgt durch Sammelfahrzeuge. Pro Fahrt eine Sammelmenge von ca. 4,3 t angenommen. Die Länge einer Sammeltour wird analog zur Hausmüllsammmlung zu 120 km angenommen, wobei 40 km im Stop-and-go-Betrieb zurückgelegt werden.

5.2 Sammelmengen

Die folgende Abbildung fasst die angenommenen Mengen zu den relevanten Stoffströmen zusammen. Grundlage für den Szenarienvergleich ist eine Abfallmenge von 28,3 kg/Ew, die in der jeweils szenarienspezifischen Zusammensetzung betrachtet wird.

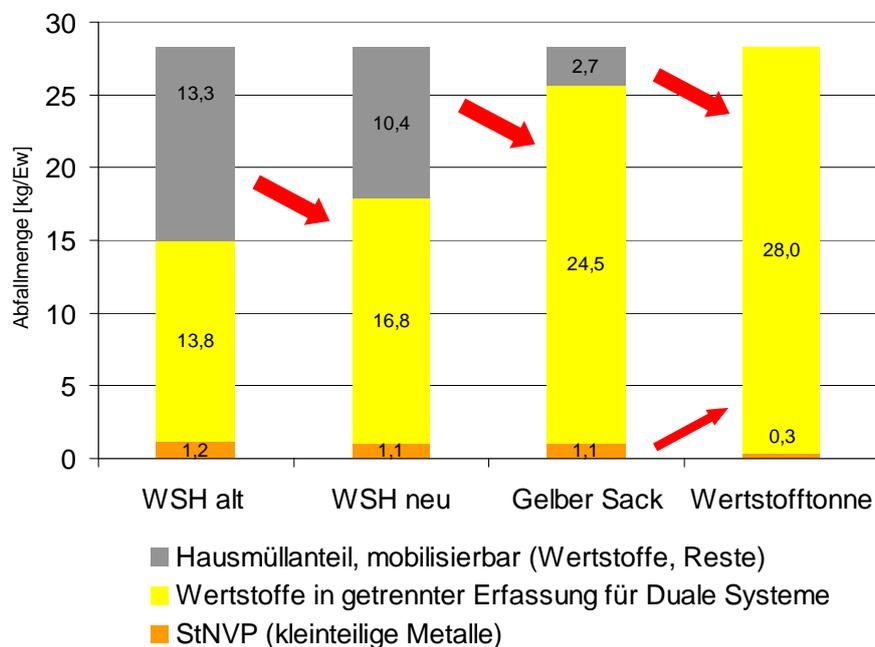


Abbildung 6: Angenommene Sammelmengen für Abfälle aus getrennter Sammlung für die Dualen Systeme (inklusive Fehlwürfe), stoffgleiche Nichtverpackungen erfasst über das Wertstoffhofsystem und Hausmüll.

Die Beschreibung des Mengengerüsts für die getrennt vom Hausmüll erfassten Wertstoffe für die Szenarien WSH alt und WSH neu erfolgt anhand der Angaben des ZAK für die Jahre 2009 (WSH alt) und 2010 (WSH neu).

Die Quantifizierung der zu erwartenden Sammelmenge im Szenario Gelber Sack erfolgt auf Basis der Angaben der entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften, die jährlich zur Erstellung der Abfallbilanz an das Landesamt für Umwelt übermittelt werden. Im Mittel der Jahre 2007 bis 2009 betrug die durchschnittliche Sammelmenge in den ländlich dichten Landkreisen Bayerns mit Holsystem 24,5 kg/Ew.

Die im Szenario Wertstofftonne getrennt erfasste Sammelmenge von 27,95 kg/Ew ergibt sich näherungsweise aus der Addition folgender Beiträge:

- der im Szenario Gelber Sack angenommenen Sammelmenge von 24,5 kg/Ew
- Ca. 1,9 kg/Ew an, im Vergleich zum Szenario Gelber Sack zusätzlich erfassten Verpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen, die sich aus dem Hausmüll mobilisieren lassen (vergleiche dazu Abbildung 8)
- 70 % der kleinteiligen Metalle, die im Szenario Gelber Sack am Wertstoffhof als Teilfraktion des Metallschrotts erfasst wurden, gehen als stoffgleiche Nichtverpackungen der Wertstofftonne zu³.
- Zusätzliche Fehlwürfe aus Hausmüllanteilen von 0,8 kg/Ew im Vergleich zur Sammelmenge im Szenario Gelber Sack.

Damit ergibt sich eine angenommene Sammelmenge im Szenario Wertstofftonne. Die angenommene Menge von 1,9 kg/Ew an LVP und StNVP, die sich durch Einführung der Wertstofftonne zusätzlich aus dem Hausmüll mobilisieren lässt, fällt im Vergleich zur Abschätzung in [UBA 2011; S. 67] deutlich geringer aus. In der aktuellen Untersuchung des UBA zur Wertstofftonne werden bezogen auf die LVP-Materialien über 5 kg an möglichen Zusatzmengen prognostiziert. Eine Ursache für die Unterschiede ist, dass [UBA 2011] von Hausmüllmengen beziehungsweise Wertstoffanteilen im Hausmüll ausgeht, die sich anhand der Auswertung bayerischer Hausmüllsortieranaysen im Rahmen dieses Vorhaben besonders für ländliche und ländlich-dichte Regionen nicht bestätigen.

5.3 Wertstofffraktionen und -mengen

Die folgende Abbildung zeigt für die untersuchten Szenarien den Mengenzuwachs beziehungsweise –rückgang für die LVP- beziehungsweise Wertstofffraktionen zur Verwertung im Vergleich zum Szenario WSH alt. Dargestellt ist der. Die Angaben beziehen sich auf den Brutto-Input zur Verwertung inklusive aller Störstoffe und weiteren Anteile, die im Rahmen der späteren Verwertung abgetrennt werden.

³ Dabei übernimmt bifa die in [UBA 2011] für die Wertstofftonne angenommene Erfassungsquote für Metall-Nichtverpackungen aus dem Restmüll von 70%.

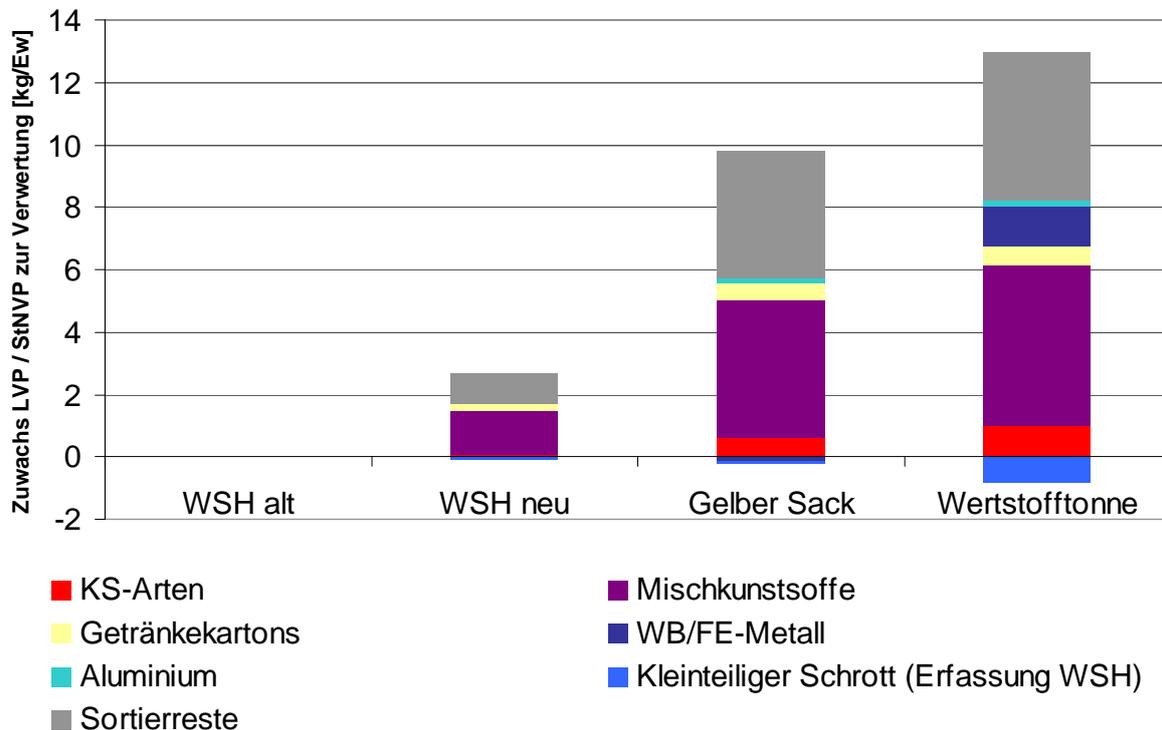


Abbildung 7: Mengen an LVP-/StNVP-Fractionen zur Verwertung und Sortierreste nach Erfassung und ggfs. Sortierung. Darstellung der Differenzen im Vergleich zum Szenario WSH alt Angaben bezogen auf Brutto-Input (inkl. Störstoffe und Anhaftungen) geeignet zur stofflichen Verwertung. Metallmengen aus der Aufbereitung der Aschen aus der Hausmüllentsorgung nicht dargestellt (vergleiche dazu Kapitel 6.2).

Durch gemischte LVP-Erfassung und durch Erfassung im Holsystem lassen sich die Brutto-Mengen an Wertstoffen, die der Verwertung zugeführt werden, im Vergleich zur sortenreinen Erfassung im Bringsystem steigern. Parallel steigt auch die miterfasste Menge an Hausmüllbestandteilen, die als Reste aus der Sortierung einer Entsorgung zugeführt werden müssen. Auf Basis der beschriebenen Annahmen zur Zusammensetzung der Sortiergemische in den Szenarien lassen sich die Mengenzuwächse näher spezifizieren: Die Steigerung der Wertstoffmengen beruht ganz wesentlich auf zusätzlich erfassten Kunststoffmengen, die überwiegend in die Fraktion Mischkunststoffe sortiert werden. So wird angenommen, dass sich von den Kunststoffanteilen, die aus dem Hausmüll mobilisiert werden, 30% der Folienanteile, ca. 75% der Verpackungskunststoffe und der sonstigen Kunststoffartikel in der Mischkunststofffraktion finden. In den Szenarien Gelber Sack und Wertstofftonne trennt die NIR-Technik bei Sortierung mit Kunststoffartentrennung zusätzlich weitere aus miterfassten Fehlwürfen und aus schwer abtrennbaren Kunststoffartikeln ab, die ohne Kunststoffartentrennung den Sortierrest bilden würden.

Mengenmäßig geringer fallen die jeweiligen Mehrmengen an Kunststoffarten und Flüssigkeitskartons aus. Die Metallmengen in den Szenarien WSH alt, WSH neu und Gelber Sack sind in Summe der FE-/NE-Anteile nahezu konstant, so dass kein Mengengewinn generiert wird. Für das Szenario Wertstofftonne ergibt sich ein geringer Zuwachs an getrennt erfassten NE-/FE-Metallen zur Verwertung.

Unberücksichtigt in der Darstellung der Brutto-Wertstoffmengen sind Unterschiede in den Qualitäten der in den jeweiligen Szenarien anfallenden Fraktionen (vergleiche dazu Kapitel 5.4). Metallmengen aus den Aschen, der im Müllheizkraftwerk (MHKW) Kempten entsorgten Hausmüllmengen, sind nicht dargestellt.

5.4 Verwertung und Aufbereitung

Die Bilanzierung der stofflichen Verwertung mit Blick auf Sekundärprodukte und Aufbereitungsreste der Wertstofffraktionen basiert auf [HTP/ifeu 2002]. Mit Blick auf die im Rahmen dieser Untersuchung zu vergleichenden Szenarien ist deshalb zu beachten, dass die jeweiligen Erfassungsstrategien Einfluss auf die zur Verwertung anstehenden Sortierfraktionen mit Blick auf Störstoffanteil und Sauberkeit haben können. Im Rahmen der Experteninterviews wurde darauf hingewiesen, dass die Qualitäten der Fraktionen, die an den Wertstoffhöfen im Bringsystem erfasst werden, im Vergleich zu den Fraktionen aus der Sortierung von LVP-Gemischen höher sein können. Voraussetzung dafür ist die Qualitätssicherung bei der Annahme des Materials am Wertstoffhof. Die befragten Experten bestätigen für die Wertstofffraktionen aus Wertstoffhöfen geringere Anteile an Fremdmaterial und Restinhalten beziehungsweise eine höhere Reinheit des Materials. Insgesamt sei das Material besser für eine werkstoffliche Verwertung geeignet. bifa nimmt an, dass im Szenario WSH alt im Vergleich zum Szenario Gelber Sack bei allen Kunststofffraktionen, die Reste aus der Aufbereitung absolut 5% geringer sind und damit korrespondierend der Anteil an Sekundärprodukten steigt. Diese Annahme liegt innerhalb der Spanne, die von einem Kunststoffverwerter, der im Rahmen der Experteninterviews befragt wurde, angegeben wurde.

Die Verwertungswege, denen die Kunststofffraktionen zugehen sind unabhängig von der Erfassung im Bring- oder Holsystem. Abgesehen von den Mischkunststoffen gehen alle Sortierfraktionen der stofflichen Verwertung zu. Für die Mischkunststoffverwertung wird angenommen, dass jeweils ein Drittel der Mischkunststoffmenge werkstofflich (überwiegend Holz-/Betonersatz), rohstofflich oder energetisch verwertet wird. Für die Fraktionen aus der Sortierung der Wertstofftonne geht bifa in Näherung davon aus, dass sich die Qualitäten und die Verwertungswege nicht vom Szenario Gelber Sack unterscheiden.

6 Entsorgung Hausmüll

6.1 LVP-/StNVP-Anteile im Hausmüll

Im Hausmüll sind signifikante Mengen an LVP-Verpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen enthalten. Zur Beschreibung der Anteile an LVP und stoffgleichen Nichtverpackungen für den Hausmüll des ZAK stehen keine Sortieranalysen zur Verfügung. Deshalb müssen diese Anteile für jedes Szenario in Abhängigkeit vom jeweilig angenommenen System zur Erfassung von Verpackungen näherungsweise ermittelt werden. Die Grundlage zur Quantifizierung dieser Anteile bieten die Restmüllsortieranalysen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt. Die entsprechenden Daten wurden für diese Untersuchung vom Referat 33 des Landesamtes für Umweltschutz zur Verfügung gestellt. Die folgende Abbildung zeigt die auf Basis der Sortieranalysen angenommenen Anteile an LVP und stoffgleichen Nichtverpackungen im Hausmüll.

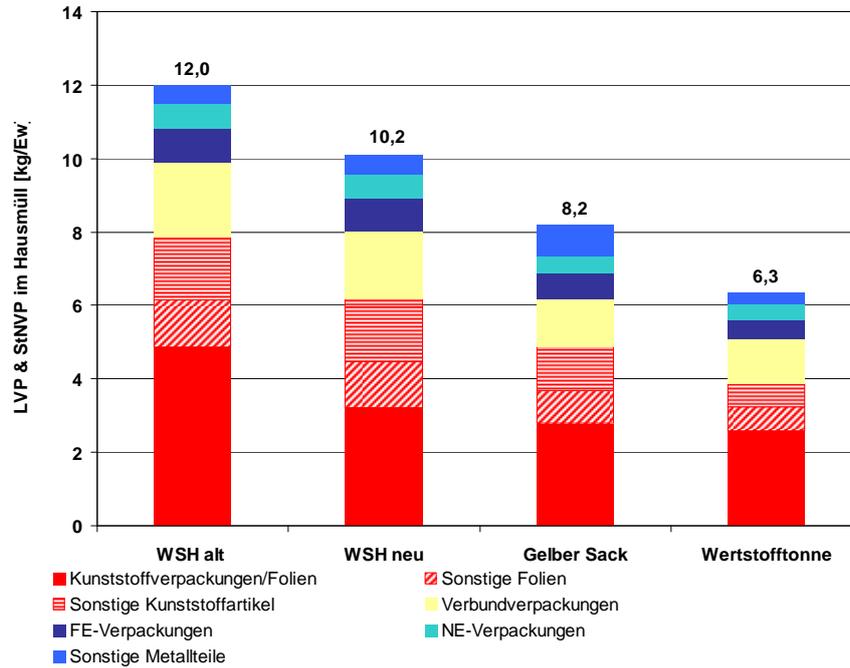


Abbildung 8: Anteile an LVP und stoffgleichen Nichtverpackungen im Hausmüll der Untersuchungsszenarien. Quelle: Auswertung der Restmüllsortieranaysen des LfU (Szenarien WSH alt und Gelber Sack), [UBA 2011] und bifa-Annahmen (Szenarien WSH neu und Wertstofftonne)

Spiegelbildlich zu den getrennt erfassten LVP-Mengen (vergleiche Kapitel 4.3) verhält sich die Menge an Kunststoffen, Verbunden und Metallen im Hausmüll. Die Summe dieser Wertstoffe ist im Szenario WSH alt mit 12 kg/Ew am größten.

Die Erfassung von LVP im Holsystem reduziert die Mengen an LVP und stoffgleichen Nichtverpackungen im Hausmüll im Vergleich zum Bringsystem um etwa ein Drittel. Durch das Einführen der Wertstofftonne würden die Anteile an den betrachteten Wertstoffen im Hausmüll im Vergleich zum Bringsystem nahezu halbiert. Die Kunststoffanteile (Verpackungen und Nichtverpackungen) im Hausmüll nehmen bei Einführung eines Holsystems ab. Auch die Anteile an FE-/NE-Metallverpackungen nehmen ab, während der Anteil an sonstigen Metallen zunimmt. Für das LVP-Holsystem bleibt der Gesamtmetallanteil im Hausmüll damit näherungsweise konstant.

6.2 Mengen und Eigenschaften

Im Szenarienvergleich wird die jeweils minimale Hausmüllmenge berücksichtigt, die erforderlich ist, so dass in allen Szenarien jeweils die gleichen Abfallmengen betrachtet werden. Die charakteristischen Eigenschaften dieser Hausmüllanteile ändern sich im Szenarienvergleich in Abhängigkeit der jeweiligen Anteile an nicht für die getrennte Erfassung mobilisierten Kunststoffen, Metallen und Verbunden.

6.3 Erfassung

Die Erfassung im Holsystem erfolgt durch Sammelfahrzeuge. Pro Fahrt wird eine Sammelmenge ca. 12,9 t angenommen. Die Länge einer Sammeltour wird zu 120 km angenommen, wobei 40 km im Stop-and-go-Betrieb zurückgelegt werden.

6.4 Thermische Behandlung

Die Beseitigung des Hausmülls erfolgt in allen Szenarien im MHKW Kempten. Die Beschreibung des MHKW erfolgt anhand aktueller Angaben zu den energetischen Wirkungsgraden und Ascheaufbereitung.

7 Äquivalenzsysteme

Die folgende Tabelle stellt die aus der Entsorgung resultierenden Nutzen an Sekundärrohstoffen und -energie den dadurch substituierten Materialien und Prozessen gegenüber. Zwischen Sekundär- und Primärrohstoffen ist eine funktionelle und technische Gleichwertigkeit nicht immer gegeben. Teilweise muss mehr Sekundär- als Primärrohstoff eingesetzt werden, um den gleichen Nutzen zu erzielen. Dieser Tatsache wird durch sogenannte Substitutionsfaktoren Rechnung getragen, die von verschiedenen Autoren ermittelt wurden (u.a. [HTP/ifeu 2002]) oder auf eigenen Annahmen beruhen.

Tabelle 5: Zusatznutzen, die mit der bayerischen Entsorgungsstruktur verbunden sind und entsprechendes Äquivalenzsystem. Substitutionsfaktor: SF

Zusatznutzen	Äquivalenzsystem
Elektrische Energie	Elektrische Energie aus dem Strommix Deutschland
Fernwärme, Prozessdampf	Fernwärme, Prozessdampf aus einem repräsentativen Erzeugungsmix
Rohstahl aus Elektrolichtbogenverfahren	Rohstahl aus Oxygenstahlverfahren
Barren aus Sekundär-Aluminium	Barren aus Primär-Aluminium
PP-Regranulat	PP-Granulat
PS-Regranulat	PS-Granulat
PO-Regranulat	PO-Granulat
MKS-Regranulat	PO-Granulat
Reduktionsmittel im Hochofen aus MKS-Agglomerat	Reduktionsmittel im Hochofen aus Heizöl
PET-Regranulat	PET-Granulat
PE-Regranulat	PE-Granulat
Palisaden aus Kunststoff	Holz- und Betonpalisaden

8 Ergebnisse: Ökobilanzieller Szenarienvergleich

8.1 Sekundärprodukte aus der Entsorgung

Die untersuchten Strategien zur Erfassung von Wertstoffen haben das Ziel, hochwertige Sekundärrohstoffe bereitzustellen oder den Energieinhalt der entsorgten Abfälle zu nutzen. Diesen beiden Nutzen kommt im Rahmen der Bilanzierung der Umweltwirkungen eine besondere Bedeutung zu. Durch die Vermeidung der Belastungen aus den konventionellen Herstellungsprozessen reduzieren sich die Umweltbelastungen aus der Erfassungs- und Entsorgungsleistung. Zur Quantifizierung der Gutschriften beziehungsweise vermiedenen Belastungen liegen für alle Szenarien dieselben konventionellen Herstellungsprozesse zugrunde (siehe Kapitel 7). Die Höhe der Gutschrift für einen Zusatznutzen ist damit im Szenarienvergleich direkt proportional zur bereitgestellten Menge. Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Mengen an Sekundärprodukten im Szenarienvergleich. Dargestellt ist der Zuwachs beziehungsweise Rückgang für die Sekundärprodukte und -energien im Vergleich zum Szenario WSH alt.

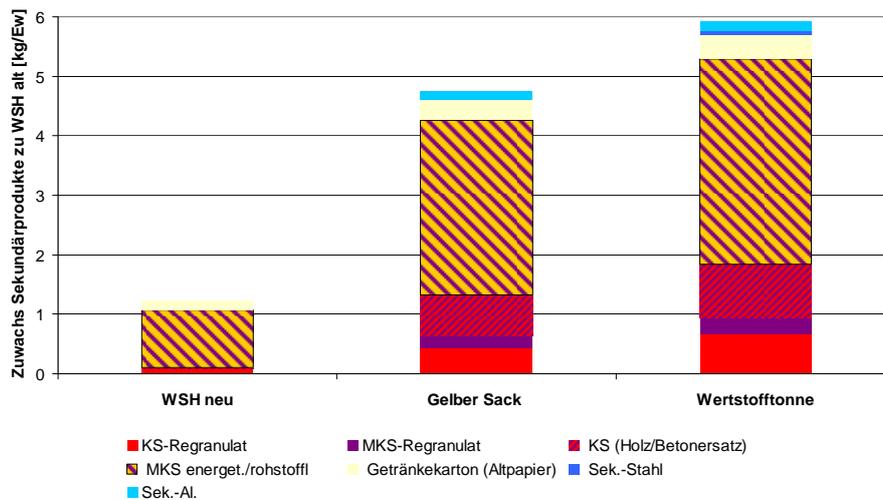


Abbildung 9: Sekundärprodukte im Vergleich zum Szenario WSH alt. Bezugseinheit: Entsorgung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Aufteilung. Inklusive Metallmengen aus der Aufbereitung der Aschen aus der Hausmüllentsorgung.

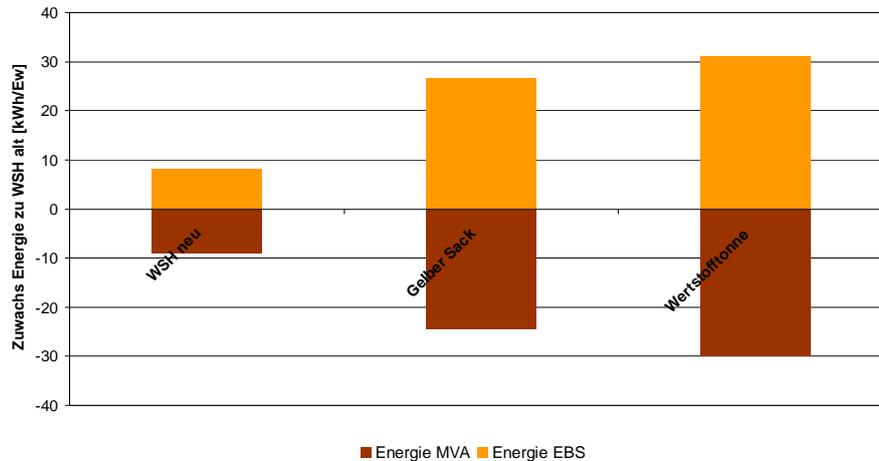


Abbildung 10: Erzeugte Sekundärenergie im Vergleich zum Szenario WSH alt. Energie EBS: Energetische Verwertung von MKS, EBS aus LVP-Sortierresten und Rejects in Zementwerken. Energie MVA: Entsorgung von Hausmüll, Aufbereitungsresten und Sortierresten zur Beseitigung. Bezugseinheit: Entsorgung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Aufteilung.

Im Vergleich zum Szenario WSH alt steigt die Menge an Sekundärprodukten in allen Vergleichsszenarien. Entsprechend den Mengen, die nach Erfassung und Sortierung der Verwertung zugeführt werden (vergleiche Abbildung 7) fällt der absolute Zuwachs im Szenario WSH neu mit ca. 1,2 kg/Ew moderat aus. In den Szenarien mit Erfassung im Holsystem Gelber Sack und Wertstofftonne ist der Zuwachs mit 4,7 kg/Ew und 5,9 kg/Ew deutlicher. Der entsprechende prozentuale Mengenzuwachs an Sekundärprodukten im Vergleich zum Bringsystem WSH alt beträgt 36 % im Szenario Gelber Sack und 46% im Szenario Wertstofftonne.

Mit Blick auf die Art der Sekundärprodukte zeigt sich, dass der Zuwachs durch die Mischkunststoffanteile zur rohstofflichen Verwertung oder zur Verwertung als Holz-/Betonersatz bestimmt wird. Der Zuwachs von Kunststoffregranulaten ist mengenbezogen von geringerer Bedeutung. Prozentual beträgt der Zuwachs an Kunststoffregranulaten im Vergleich zum Szenario WSH alt ca. 5 % (WSH neu), 22 % (Gelber Sack) und 31 % (Wertstofftonne). Ein Zuwachs an NE-Metallen ergibt sich in den Szenarien Gelber Sack und Wertstofftonne. Die Abtrennung der FE-Metalle im Rahmen der LVP-Sortierung ist nur wenig effizienter, als die angenommene Rückgewinnung von Fe-Metallanteilen im MHKW Kempten⁴. Deshalb sind in Summe die Sekundärstahlmengen aus getrennten erfassten FE-Abfällen und den rückgewonnenen FE-Anteilen aus der Hausmüllasche im Szenarienvergleich sehr ähnlich.

Der Zuwachs insbesondere an Mischkunststoffen und die Bereitstellung hochkalorischer Sortierreste aus der LVP-Sortierung führen zu deutlichen Anstiegen der über die energetische Verwertung erzeugten Energiemenge in den Holsystem-Szenarien. Da die thermisch behandelten Hausmüllmengen im Szenarienvergleich abnehmen sinken die zugehörigen Energiemengen aus diesem Entsorgungsweg.

Mit Blick auf die umweltbezogene Bewertung sind aufgrund der bereitgestellten Sekundärprodukte und -energien Unterschiede in den Szenarien im Wesentlichen aufgrund des Zuwachses an Misch-

⁴ Im Rahmen der LVP-Sortierung werden FE-Metalle zu 95 % abgetrennt. Nach Angaben des ZAK werden auch aus der MVA-Asche 89% der FE-Anteile rückgewonnen.

kunststoffen zur rohstofflichen beziehungsweise zur energetischen Verwertung und im geringeren Umgang durch eine gesteigerte Sekundärgranulatmenge zu erwarten.

8.2 Normierte Umweltwirkungen

Die Ermittlung der Umweltwirkungen für jedes Szenario erfolgt anhand der in Kapitel 15 beschriebenen Methodik durch Auswertung von sieben Wirkungskategorien (siehe Tabelle 12) hinsichtlich der Umweltbe- und Entlastungen, welche die Szenarien in den jeweiligen Wirkungskategorien verursachen. Für die folgende, gemeinsame Darstellung dieser sieben Einzelergebnisse über alle Umweltwirkungen ist eine Normierung der Einzelergebnisse auf eine gemeinsame Bezugseinheit erforderlich. Dazu werden die Ergebnisse für jede Umweltwirkung normiert als Einwohnerwerte angegeben. Die Einwohnerwerte setzen die Ergebnisse für jeden Wirkungsindikator in Relationen zu den zugehörigen Gesamtemissionen in Deutschland. Die gemeinsame Darstellung der Umweltwirkungen bietet sich an, da die Ergebnisse für die einzelnen Wirkungskategorien qualitativ zu ähnlichen Ergebnissen führen.

Um möglichst anschaulich die Faktoren zu identifizieren, die für die unterschiedlichen Umweltwirkungen der betrachteten Szenarien verantwortlich sind, fassen die folgenden Darstellungen die beziehungsweise Entlastungen nach Ihrer Herkunft entlang der Entsorgungskette zusammen. Das heißt die Darstellung differenziert nach folgenden Sektoren:

1. Balken: **Belastungen** differenziert für die Stoffströme Hausmüll (HM), LVP-Fraktionen (LVP) und als stoffgleiche Nichtverpackungen (StNVP) berücksichtigte Metallanteile aus **Erfassung**: Primärlogistik (Bringsystem/Holsystem) – und Sekundärlogistik, **Entsorgung/Verwertung**: Sortierung, Beseitigung/Verwertung und Herstellung von Sekundärprodukten. Die Belastungen aus Sortierung/Verwertung aller LVP-Fraktionen sind als ein gemeinsamer Sektor dargestellt, wobei Beiträge dominierender Anteile ausgewiesen sind.
2. Balken: **Gutschriften** für Bereitstellung von **Sekundärenergie** Strom/Wärme aus der Behandlung von Hausmüll und Sortierresten in einer MVA und thermische Energie aus der Verwertung hochkalorischer Fraktionen und Eratzbrennstoffe und rohstofflicher Verwertung von Mischkunststoffen im Hochofen **Sekundärprodukte** aus stofflicher Verwertung (differenziert nach den Beiträgen MKS-Regranulat, Regranulate aus Folien, Hohlkörpern- und Kunststoffarten, Sekundärstahl/-Aluminium und Altpapierfasern aus Flüssigkeitskartons) Gutschriften repräsentieren Umweltentlastungen und werden deshalb als negative Werte angegeben).
3. Balken: **Summe** aus Belastungen und Gutschriften.

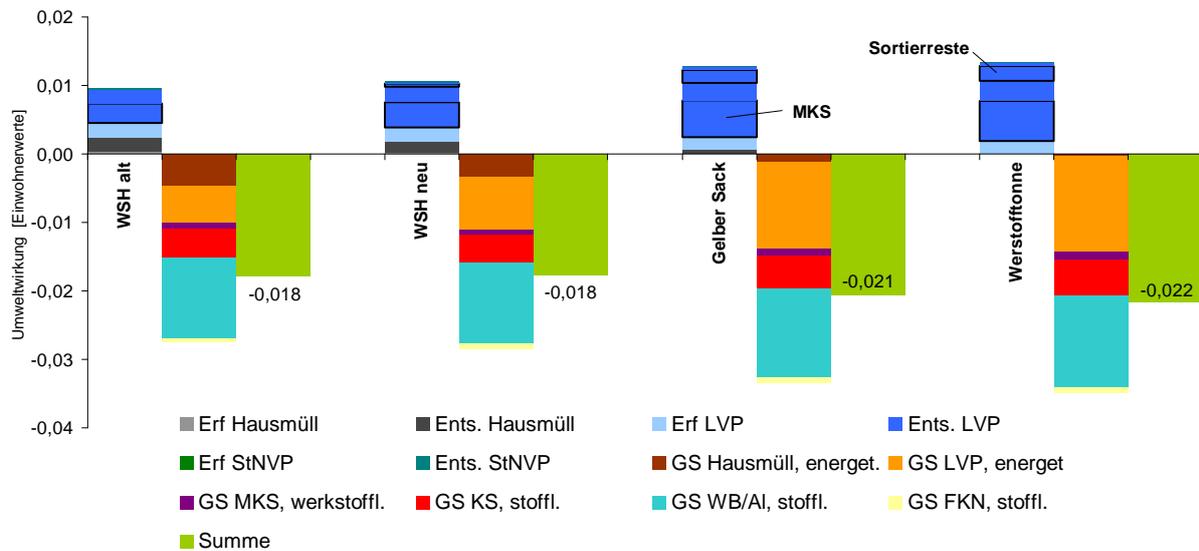


Abbildung 11: Normierte Umweltwirkungen als Einwohnerwerte differenziert nach Herkunftsbereich. Bezugseinheit: Entsorgung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Aufteilung. Negative Einwohnerwerte repräsentieren Umweltentlastungen. GS: Gutschrift. Erf: Erfassung. Ents: Entsorgung. MKS: Mischkunststoff. KS: Kunststoff. FKN: Getränkekarton. WB/Al: Weißblech/Aluminium

In allen untersuchten Szenarien zur Wertstofferrfassung überwiegen die Umweltentlastungen aus der Bereitstellung von Sekundärprodukten und –energie die mit der Erfassung und Entsorgung verbundenen Umweltbelastungen. Alle Szenarien sind daher umweltentlastend. Das Szenario Wertstofftonne hat vor dem Szenario Gelber Sack die höchste Umweltentlastung. Die Umweltentlastungen in den Szenarien mit Bringsystem sind nahezu identisch und um 13 % beziehungsweise 18 % geringer als die der Holsystem-Szenarien.

In allen Szenarien bestimmen die Verwertung von LVP und in geringerem Umfang die LVP-Erfassung die Umweltbelastungen. In den Bringsystem-Szenarien trägt zudem die Hausmüllentsorgung zur Gesamtbelastung bei. Dagegen haben die Umweltbelastungen aus der Hausmüllerrfassung und der Erfassung/Verwertung der geringen Menge an kleinteiligen Schrottmengen geringe oder vernachlässigbare Bedeutung.

Mit Blick auf die Belastungen aus der LVP-Verwertung haben Sortierrestentsorgung und besonders die Mischkunststoffverwertung erheblichen Anteil. Der Energieaufwand für die erforderliche LVP-Sortierung hat dagegen keinen signifikanten Einfluss auf die Umweltwirkung.

Der Anteil der LVP-Erfassung beträgt in den Bringsystem-Szenarien 20 % (WSH neu) beziehungsweise 22% (WSH alt) der Gesamtbelastung. In den Holsystem-Szenarien reduziert sich der Anteil an der Gesamtbelastung auf ca. 15%.

Die Umweltentlastungen werden bestimmt durch die Gutschriften aus der Substitution von Primäraluminium und -stahlherstellung und durch die Substitution des Einsatzes fossiler Energieträger im Rahmen der energetischen beziehungsweise rohstofflichen Verwertung. Von geringerer Bedeutung für die Gesamtentlastung ist die Substitution von Primärkunststoffgranulaten. Die Gutschriften aus der Verwendung von Sekundärkunststoffen als Holz- oder Betonersatz haben einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Umweltentlastungen.

Die in den Holsystem-Szenarien in getrennter Sammlung zusätzlich erfassten Mengen an Mischkunststoffen und Sortierresten steigern die Umweltbelastungen aus den Prozessen zur Verwertung beziehungsweise Entsorgung dieser Anteile. Die mit der Verwertung verbundenen Umweltlasten sind gekoppelt an:

- Luftseitige Emissionen aus der energetischen oder rohstofflichen Verwertung oder thermischen Behandlung von Mischkunststoffen, Sortier- und Aufbereitungsresten
- Emissionen aus der Herstellung von Energie für die Aufbereitung der Kunststofffraktionen zu Regranulaten oder Agglomeraten, der Aufbereitung der FE-/NE-Anteile und der Herstellung von Altpapierfasern aus Flüssigkeitskartons

Mit Blick auf die Nutzen tragen die Gutschriften aus der energetischen beziehungsweise rohstofflichen Verwertung von Mischkunststoffen und hochkalorischen Sortierresten maßgeblich zur höheren Umweltentlastung der Holsysteme bei. Bei der Verwertung als Ersatzbrennstoff beispielsweise im Zementwerk und beim Einsatz der Mischkunststoffe als Reduktionsmittel im Hochofen wird bei hohen Wirkungsgraden die Verbrennung der fossilen Energieträger Erdöl und Steinkohle substituiert. Diesem Energiegewinn steht in den Holsystem-Szenarien ein Gutschriftenverlust aus der Substitution von Strom, Fernwärme und Prozessdampf gegenüber, der sich im Szenario WSH alt aus der Hausmüllbehandlung ergibt.

Im Rahmen der Holsysteme findet eine Mobilisierung zusätzlicher Wertstoffe, insbesondere von Kunststoffarten oder Metallen für eine hochwertige werkstoffliche Verwertung nur begrenzt statt. Die Steigerung der Wertstoffmengen in den Holsystemen beruht ganz wesentlich auf Mischkunststoffen. Von mengenbezogen geringerer Bedeutung sind die jeweiligen Mehrmengen an Kunststoffarten, die zudem geringere Reinheiten im Vergleich zum Szenario WSH alt aufweisen. Höhere Umweltentlastungen durch die Bereitstellung hochwertiger Sekundärkunststoffe werden deshalb in den Szenarien Gelbe Tonne und Wertstoffhof nur begrenzt erreicht. Der Zuwachs an Kunststoffmengen zur stofflichen Verwertung als Holz-/Betonersatz steigert die Gutschriften in vernachlässigbarem Umfang.

Der geringe umweltbezogene Vorteil der Einführung des Wertstoffsacks im Szenario WSH neu basiert im Wesentlichen auf Energiegewinn aus der rohstofflichen und energetischen Verwertung der zusätzlich erfassten Mischkunststoff-Anteile.

8.3 Sensitivitäten

8.3.1 Primärlogistik Bringsystem

Die Zuordnung der Umweltauswirkungen von Transporten zum Wertstoffhof auf die LVP-Fraktionen basiert auf Annahmen zur Berücksichtigung von Kombifahrten und zur Berücksichtigung der Anteils der LVP-Fraktionen an den Transportaufwendungen einer durchschnittlichen Fahrt. Der Einfluss dieser Annahmen für die LVP-Anlieferung an den Wertstoffhöfen auf das umweltbezogene Gesamtergebnis der Bringsysteme wird durch die in der folgenden Tabelle beschriebene Variation beleuchtet. Für die betrachteten Parameter und für jedes der betrachteten Szenarien werden ein Good- und ein Worse-Case angenommen und die zugehörigen Gesamtumweltwirkungen berechnet. Der Good-Case bildet eine Verbesserung des ökologischen Gesamtergebnisses ab, der Worse-Case dagegen eine Verschlechterung.

Tabelle 6: Sensitivitätsanalysen zum Ökologie-Index. Primärlogistik Bringsystem. GC: Good-Case; WC: Worse-Case

	WSH alt	WSH neu	Gelber Sack	Wertstofftonne
Good-Case (GC)	Bei Kombifahrten zum Wertstoffhof fallen, von Umwegen abgesehen, keine Transportleistungen für die Abfälle an. Der Anteil der LVP an den Transportaufwendungen beträgt nur 20% anstelle der im Basisszenario angenommenen 50%.		Keine Änderungen	
Worse-Case (WC)	Transportaufwendungen aus Kombifahrten zum Wertstoffhof werden vollständig der Abfallanlieferung zugerechnet. Der Anteil der LVP an den Transportaufwendungen beträgt 66 % anstelle der im Basisszenario angenommenen 50%.		Keine Änderungen	

Die folgende Abbildung zeigt den Einfluss der Primärlogistik exemplarisch am Beispiel des Szenario WSH neu anhand der aggregierten Darstellung über alle Umweltwirkungen quantifiziert in Einwohnerwerten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Änderungen im Szenario WSH alt nicht dargestellt. Quantitativ ergeben sich keine Unterschiede zum Szenario WSH neu.

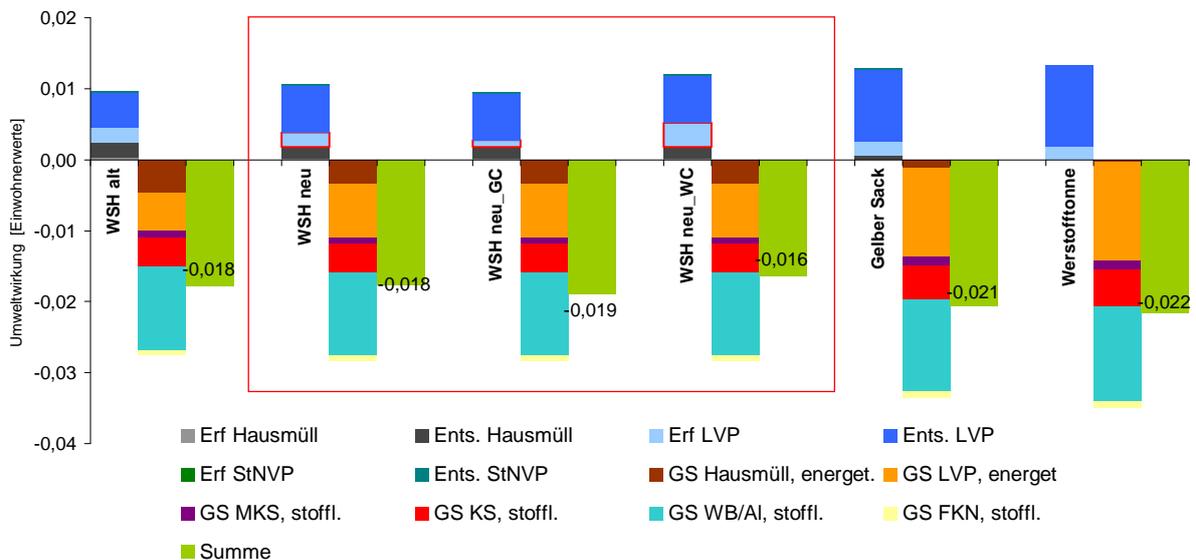


Abbildung 12: Sensitivität Primärlogistik Bringsystem im Szenario WSH neu. Normierte Umweltwirkungen als Einwohnerwerte differenziert nach Herkunftsbereich. Bezugseinheit: Entsorgung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Aufteilung. Negative Einwohnerwerte repräsentieren Umweltentlastungen. GS: Gutschrift. Erf: Erfassung. Ents: Entsorgung. MKS: Mischkunststoff. KS: Kunststoff. FKN: Getränkekarton. WB/Al: Weißblech/Aluminium

Rechnet man der LVP-Erfassung im Wertstoffsack nur minimale Anteile der Transportaufwendungen zu (Good-Case), verringert sich die Belastung aus der LVP-Erfassung um ca. 50 %.

Nimmt man dagegen für die Erfassung des Wertstoffsacks höhere Anteile an Transportaufwendungen an (Worse-Case), erhöht sich die Belastung aus der LVP-Erfassung um ca. 60%. Die Umweltentlastung aus dem Szenario WSH neu reduziert sich insgesamt um ca. 8%.

8.3.2 Mischkunststoffverwertung

Die Steigerung der Sammelmengen in den Bringsystemen führt im Wesentlichen zu größeren Mischkunststoffmengen. Für die Mischkunststoffverwertung wird angenommen, das jeweils ein Drittel werkstofflich (überwiegend Holz-/Betonersatz und in geringerem Umfang Regranulat), rohstofflich und energetisch verwertet wird. Um den Einfluss verschiedener Strategien zur Mischkunststoffverwertung auf das umweltbezogene Ergebnis des Szenarienvergleichs zu beschreiben, werden die, in der folgenden Tabelle dargestellten perspektivischen Szenarien einer vollständigen Aufbereitung zu Regranulat beziehungsweise einer energetischen Verwertung der Mischkunststoffverwertung abgebildet.

Tabelle 7: Sensitivitätsanalysen zum Ökologie-Index. Szenarien zur Mischkunststoffverwertung.

	WSH alt	WSH neu	Gelber Sack	Wertstofftonne
Regranulat	Die gesamte Mischkunststoffmenge geht der werkstofflichen Verwertung zu. Im Rahmen der werkstofflichen Verwertung wird das gesamte Material zu Mischkunststoffregranulat aufbereitet. Die Aufbereitung von Mischkunststoffen zu Holz-/Betonersatz ist nicht erforderlich.			
Energetisch	Keine werkstoffliche Verwertung. Die gesamte Mischkunststoffmenge geht jeweils zu 50% der rohstofflichen und der energetischen Verwertung als Ersatzbrennstoff zu.			

Die folgenden Abbildungen zeigen den Einfluss der Mischkunststoffverwertung exemplarisch am Beispiel der Szenarien Gelbe Tonne anhand der aggregierten Darstellung über alle Umweltwirkungen quantifiziert in Einwohnerwerten⁵.

⁵ Für die Szenarien WSH alt und Wertstofftonne ergeben sich qualitativ keine neuen Erkenntnisse zu den Szenarien WSH neu beziehungsweise Gelbe Tonne, so dass auf eine Darstellung verzichtet wird.

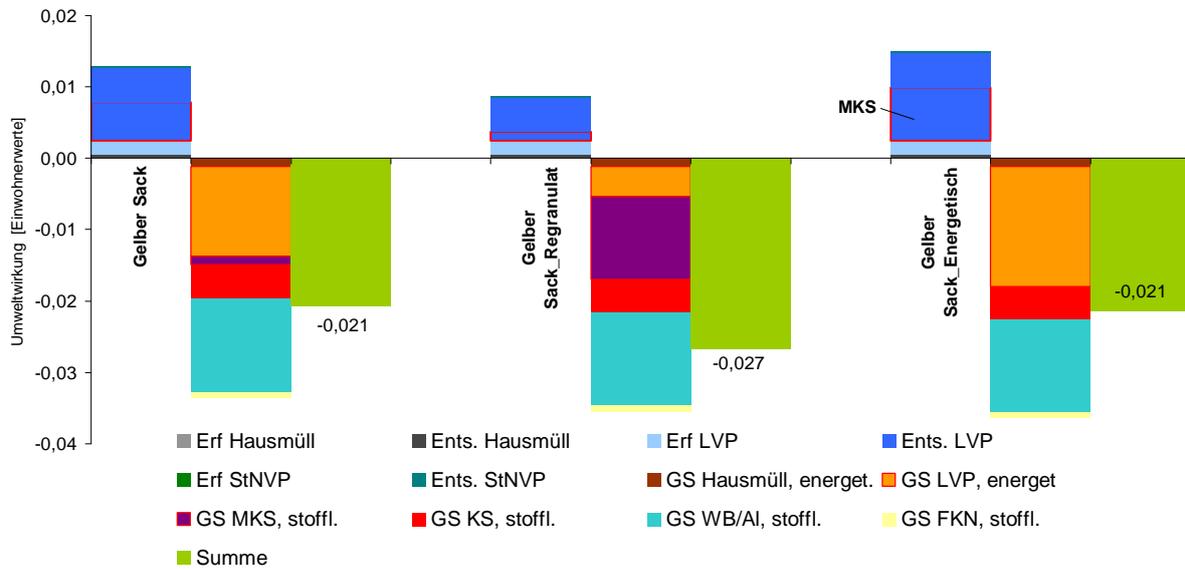


Abbildung 13: Sensitivität Mischkunststoffverwertung im Szenario Gelber Sack. Normierte Umweltwirkungen als Einwohnerwerte differenziert nach Herkunftsbereich. Bezugseinheit: Entsorgung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Aufteilung. Negative Einwohnerwerte repräsentieren Umweltentlastungen. Werkstofflich: 100% Werkstoffliche Verwertung zu MKS-Regranulat. Energetisch: 50% energetische, 50% rohstoffliche Verwertung

Die vollständige werkstoffliche Verwertung zu Regranulat führt zu deutlich höheren Gesamtumweltentlastungen. Einerseits sinken die Belastungen aus der Mischkunststoffaufbereitung erheblich. Andererseits steigert die werkstoffliche Aufbereitung vollständig zu MKS-Regranulat geringfügig die Umweltentlastungen im Vergleich zur im Basisszenario angenommen geteilten energetischen und stofflichen Verwertung überwiegend als Holz-/Betonersatz. Die vollständige energetische/rohstofflichen Verwertung verändert das umweltbezogene Gesamtergebnis im Vergleich zur aktuellen Situation der Mischkunststoffverwertung kaum.

9 Ergebnisse: Entsorgungskosten

9.1 Methodik

Die im Rahmen dieser Untersuchung geführte Kostenbetrachtung nimmt eine rein betriebs- beziehungsweise einzelwirtschaftliche Perspektive ein. Volkswirtschaftliche Kostenbelastungen (z.B. Umweltfolgekosten von Logistik- oder Behandlungsmaßnahmen), die von der Allgemeinheit zu tragen sind, bleiben daher unberücksichtigt. Allerdings werden derartige Effekte in der ökologischen Dimension der Ökoeffizienzanalyse erfasst, dabei jedoch in naturwissenschaftlichen Einheiten und nichtmone- tär.

Die Kostenerfassung erfolgt in drei Stufen:

Stufe 1: Im Fokus stehen hier die einzelwirtschaftlichen Kosten des ZAK. Dies sind die Aufwendungen in den Bereichen:

- Erfassung = Primärlogistik (Bring-/Holsystem) und Sekundärlogistik (Wertstoffhöfe und Wertstoffinseln)
- Entsorgung = Verwertung (Sortierung und Verwertung beziehungsweise Vermarktung von Wertstoffen) und die Beseitigung von Reststoffen (im MHKW des ZAK)

Stufe 2: Hier werden als kostenmindernde Komponente die Kostenerstattungen der Dualen Systeme (DS) für die Dienstleistungen des ZAK im Rahmen der Entsorgung der Verpackungsabfälle mit ins Kalkül gezogen (Leistungen für Wertstoffhöfe, Wertstoffinsel); dabei unterschiedlich relevant in den Szenarien WSH alt, WSH neu, Gelber Sack und Wertstofftonne).

Bemerkt sei, dass speziell bei der Systemvariante „Wertstofftonne“ die Kostenerstattung eine grundlegende Änderung erfahren kann. Die Trägerschaft und Finanzierung einer Wertstofftonne ist bislang offen. Hierzu führt das UBA derzeit ein Planspiel durch mit zwei Modellen. Im Rahmen der Analyse entscheidet sich bifa nicht für eines der beiden Modelle, sondern geht davon aus, dass die Entsorgung via Wertstofftonne über die DS erfolgen würde und der ZAK entsprechende Dienstleistungskosten für die Entsorgung der stoffgleichen Nichtverpackungen zu tragen hätte. Diese „Agreement-Variante“ entspricht dem Sinne nach den Möglichkeiten im Rahmen des bestehenden KrW-/AbfG. Insofern ergeben sich bilaterale Kostenerstattungen:

- Dienstleistungskosten für den ZAK für die Entsorgungsleistungen der DS für stoffgleiche Nichtverpackungen und Verpackungen ohne Lizenzierung („Agreement-Variante“)

Damit wird ersichtlich, welche Kosten vom ZAK letztlich zu tragen sind.

Stufe 3: Hier werden weitere einzelwirtschaftliche Kosten betrachtet, welche bei den übrigen System- beteiligten anfallen:

- Dies sind einmal die Bürger, welche insbesondere bei den Systemvarianten WSH alt und WSH neu im Rahmen der Primärlogistik im Bringsystem tätig sind (d.h. Aufwendungen des Handling der Abfälle und vor allem des Individualverkehrs zu den Wertstoffhöfen/-inseln). Entsprechen-

de Kostengrößen werden aus den Bürger- beziehungsweise Verbraucherdaten, wie sie im Rahmen der Akzeptanzanalyse erhoben wurden, abgeschätzt.

- Zum anderen handelt es sich um die Aufwendungen der Dualen Systeme, wenn sie im Rahmen ihrer Pflichterfüllung selbst tätig werden beziehungsweise sich im Rahmen ihres Tätigwerdens bei der Entsorgung von Nichtverpackungsabfällen beteiligen. Dies sind insbesondere im Szenario WSH neu die Bereitstellung und Auslieferung des Wertstoffsacks, im System „Gelber Sack“ die sackgebundene Entsorgung der Verpackungsabfälle und im System „Wertstofftonne“ die tonnengebundene Entsorgung von Verpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen. Die korrespondierenden Kosten werden aus Literaturdaten abgeschätzt.

Zu bemerken ist, dass bifa sich im Rahmen der Ökoeffizienzanalyse auf die Kostendaten gemäß Kostenerfassung der Stufe 1 zzgl. Stufe 2 beschränkt. Ausschlaggebend hierfür ist, dass in der Analyse die einzelwirtschaftliche Sichtweise des ZAK darzustellen ist. Zudem erweisen sich diese Daten, da vor Ort erhoben und mit den Fachleuten des ZAK abgestimmt, als unbedingt belastbar. Die abgeschätzten Kostendaten der Stufe 3 hingegen haben lediglich arrondierenden Charakter und sollen die betriebswirtschaftliche Kostensituation des Gesamtsystems, d.h. aller Systembeteiligter, abbilden.

9.2 Kostenerfassung

Die folgende Abbildung veranschaulicht die einzelwirtschaftlichen Kosten des ZAK in den betrachteten Systemvarianten.

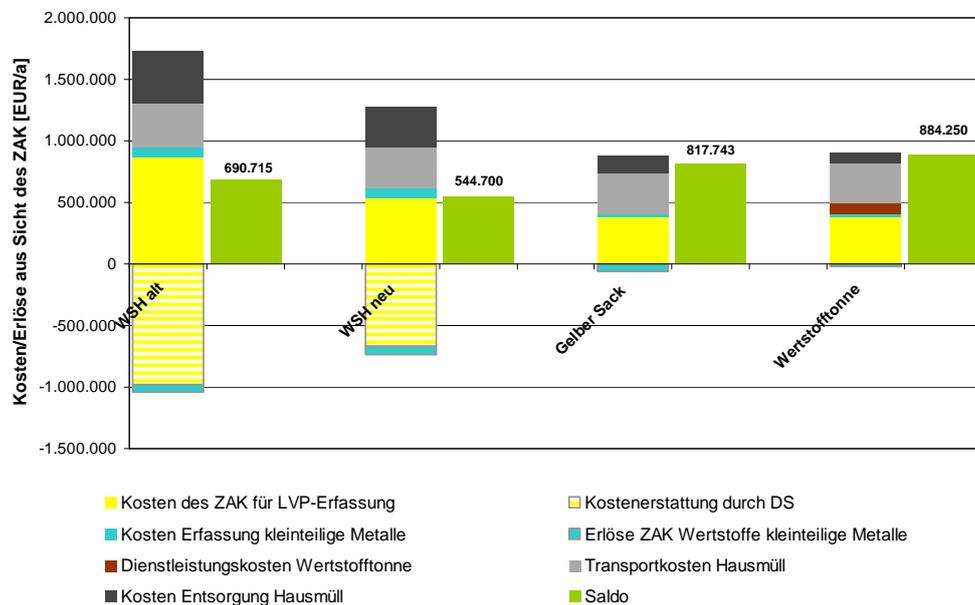


Abbildung 14: Kosten für die Entsorgung der untersuchten Stoffströme aus Sicht des ZAK. Bezugsseinheit: Entsorgung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Aufteilung hochgerechnet auf alle Einwohner im Verbandsgebiet des ZAK. Positive Werte: Kosten für den ZAK. Negative Werte: Erlöse für den ZAK. Kosten der übrigen Systembeteiligten (Bürger, DS) für Erfassung und Verwertung nicht berücksichtigt.

Ersichtlich ist, dass das Szenario WSH neu mit Gesamtkosten in Höhe von rd. 545 Tsd. EUR für den ZAK die kostenmäßig günstigste Variante darstellt. Demgegenüber würde das Szenario Wertstofftonne mit

Gesamtkosten von rund 884 Tsd. EUR eine Verteuerung um rd. 60 Prozent bedeuten. Als etwas günstiger stellt sich mit Gesamtkosten in Höhe von rd. 818 Tsd. EUR das Szenario Gelber Sack dar, da im Vergleich zum Szenario Wertstofftonne für den ZAK insbesondere keine Dienstleistungskosten für DS anfallen (wobei jedoch die MVA-Kosten für Fehlwürfe und Wertstoffe im ZAK-Restabfall etwas höher ausfallen).

10 Ergebnisse: Ökoeffizienzanalyse

Die Ökoeffizienzanalyse stellt das Ergebnis der ökobilanziellen Betrachtung (Ökologie-Index) den mit der Entsorgung verbundenen spezifischen Kosten gegenüber. Den Entsorgungskosten liegen die Ergebnisse aus Kapitel 9 zugrunde. Der Ökologie-Index ergibt sich durch Verrechnung der normierten Umweltwirkungen (siehe Kapitel 8.2 und 8.3) mit den projektunabhängigen Größen Ökologische Gefährdung und Distance-to-Target. Je höher der Ökologie-Index eines Verfahrens ist, desto höher sind die mit der Entsorgung verbundenen Umweltwirkungen. Negative Ökologie-Indizes stehen für Umweltenlastungen bei Betrachtung der Entsorgungsverfahren und Äquivalenzsysteme.

Der Ökologie-Index und die Gesamtkosten des Szenario WSH alt werden gleich Null gesetzt. Das Szenario WSH alt befindet sich daher im Nullpunkt des Ökoeffizienz-Portfolios. Die weiteren Szenarien platzieren sich entsprechend ihrer prozentualen Abweichungen vom Szenario WSH alt.

Umweltbe-/entlastung und Kosten sind im Ökoeffizienz-Portfolio so aufgetragen, dass Szenarien mit, im Vergleich zum Szenario WSH alt, geringerer Ökoeffizienz (Mehrkosten und geringere Umweltentlastungen) im unteren linken Quadranten des Portfolios positioniert sind, Szenarien mit höherer Ökoeffizienz (Einsparungen und höhere Umweltentlastungen) im oberen rechten Quadranten.

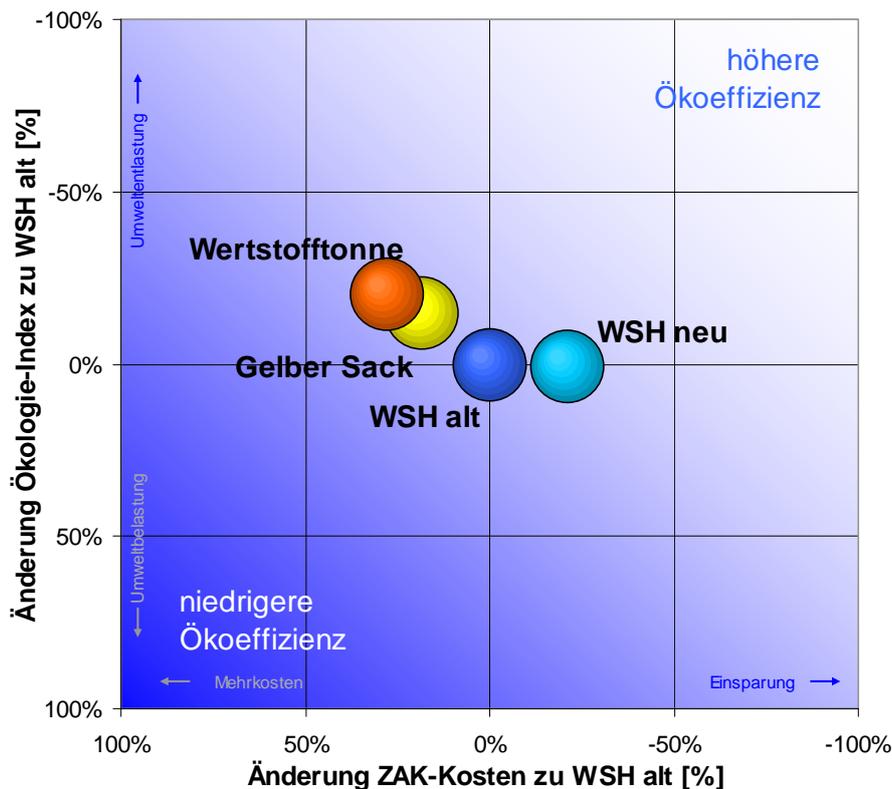


Abbildung 15: Ökoeffizienz-Portfolio. Darstellung der Szenarien im Vergleich zum Szenario WSH alt. Bezugs-
einheit: Entsorgungsleistung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Auftei-
lung hochgerechnet auf alle Einwohner im Verbandsgebiet des ZAK.

Im Szenarienvergleich sind die prozentualen Abweichungen der Entsorgungskosten etwas größer als die der Gesamtumweltwirkungen. Im Vergleich der untersuchten Erfassungssysteme ist das Szenario WSH neu die ökoeffizienteste Lösung. Die Ökoeffizienz des Szenario WSH alt ist ähnlich denen der Holsystem-Szenarien. Im Vergleich der Holsystem-Szenarien sind keine signifikanten Unterschiede in der Ökoeffizienz der Szenarien Gelber Sack und Wertstofftonne auszuweisen.

Die Entsorgungskosten berücksichtigen die Aufwendungen des ZAK in den Bereichen Erfassung und Entsorgung (Sortierung und Verwertung beziehungsweise Vermarktung von Wertstoffen) und die Beseitigung von Hausmüll). Ebenso werden Kostenerstattungen der Dualen Systeme für die Dienstleistungen des ZAK im Rahmen der Entsorgung der Verpackungsabfälle mit ins Kalkül gezogen (Leistungen für Wertstoffhöfe, Wertstoffinseln). Einzelwirtschaftliche Kosten, welche bei den übrigen Systembeteiligten anfallen (beispielsweise Kosten der Fahrten der Bürger zu den Wertstoffhöfen oder Sammelleistungen der Dualen Systeme) sind dagegen nicht berücksichtigt. Da der ZAK bei einem Rückgang der Hausmüllmenge zur Auslastung des MHKW Kempten auf preislich weniger attraktive Brennstoffe ausweichen muss, werden Kostenremanenzen im Bereich der Hausmüllentsorgung bestehen bleiben. In jedem Fall ist das beschriebene Setting der Entsorgungskosten und damit die Ökoeffizienz nur für die Situation des ZAK gültig. Abweichende Rahmenbedingungen in anderen entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften können zu einer anderen Reihenfolge der Ökoeffizienz führen.

Im Vergleich zu den Unterschieden der Entsorgungskosten fallen die prozentualen Unterschiede in den Umweltentlastungen geringer aus. Der Ausbau der getrennten Wertstofffassung und die Vermeidung

von Emissionen im Bereich der Erfassung führen zu umweltbezogenen Vorteilen für die Holsystem-Szenarien im Vergleich zu den Bringsystem-Szenarien. Das Szenario Wertstofftonne ist das umweltbezogen vorteilhafteste Szenario. Zwischen den Bringsystem-Szenarien bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Gesamtumweltwirkung.

Die folgende Abbildung ergänzt die Ökoeffizienzanalyse um die Sensitivitätsbetrachtungen zur Erfassung im Bringsystem und zur Mischkunststoffverwertung.

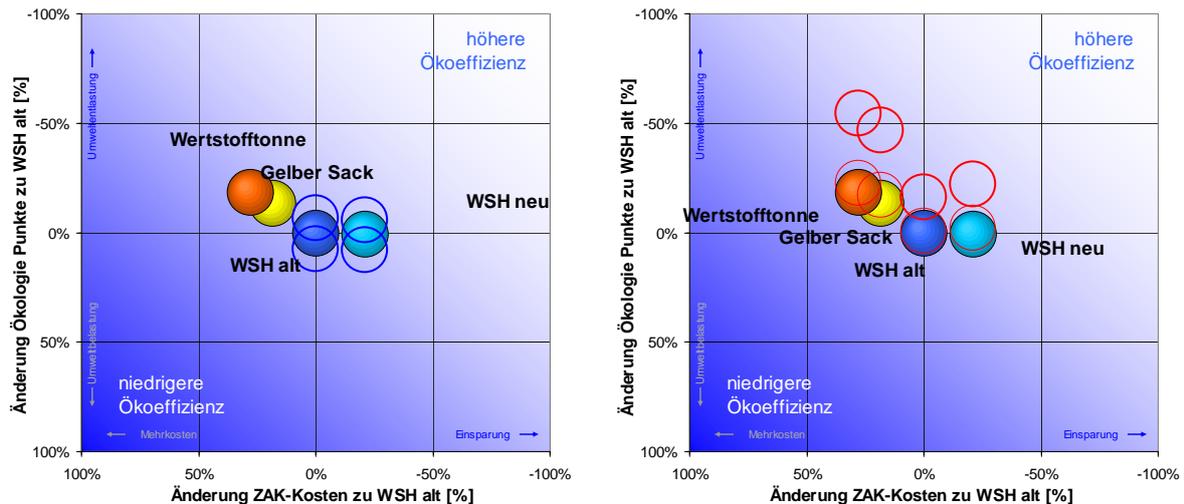


Abbildung 16: Ökoeffizienz-Portfolio. Darstellung der Szenarien im Vergleich zum Szenario WSH alt. Bezugseinheit: Entsorgungsleistung von 28,3 kg/Ew an Hausmüll, LVP und StNVP in der szenarienspezifischen Aufteilung hochgerechnet auf alle Einwohner im Verbandsgebiet des ZAK. Linke Abbildung: Sensitivitäten Erfassung Bringsystem (Blaue Kreise). Rechte Abbildung: Sensitivitäten Mischkunststoffverwertung (Rote Kreise)

Rechnet man in sensibler Betrachtung der LVP-Erfassung im Bringsystem nur minimale Anteile der Transportaufwendungen zu, verringert sich die Belastung aus der LVP-Erfassung. Die resultierende Umweltentlastung der Bringsysteme ist im Vergleich zum Szenario Gelber Sack nur noch geringfügig geringer.

Die vollständige werkstoffliche Aufbereitung von MKS zu Regranulaten verbessert das umweltbezogene Ergebnis für alle Szenarien. Die Verbesserung ist in den Holsystem-Szenarien am deutlichsten, da in diesen Szenarien die von der werkstofflichen Verwertung betroffenen Mengen am höchsten sind.

11 Ergebnisse: Quantitative Befragung

Im Rahmen der über 700 Interviews an den Wertstoffhöfen und in den Ortszentren wurden grundsätzliche Einstellung, Verhalten bei der Nutzung und Zufriedenheit bezüglich des ZAK-Wertstofffassungssystems abgefragt. Außerdem wurde nach der Anmutung verschiedener alternativer Wertstofffassungssysteme gefragt.

11.1 Nutzung des derzeitigen Erfassungssystems

Abbildung 17 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten, die im ZAK-Verbandsgebiet zur Wertstoffsammlung zur Verfügung stehen, sowie deren (unterschiedliche) Nutzung seitens der Befragten aus WSH bzw. Ortszentren/Routen. Wie nicht anders zu erwarten, nutzten die am WSH Befragten diese auch zu 100%, und fast ebenso viele (97,8%) nannten den Grünen Sack; es sind also nur wenige WSH-Nutzer, die sich dem „Wertstoffsack“ verweigern. Demgegenüber gaben „nur“ neun von zehn Befragten (92,3%) aus Ortszentren/Routen an, den WSH zu nutzen – und 85,3% von ihnen „bekannt“ sich auch zum Wertstoffsack. Dieses „weniger“ an WSH und Wertstoffsack wird offensichtlich stärker über die Wertstoffinseln kompensiert: Während nämlich „nur“ zwei von drei WSH-Befragten (68,4%) auch die Inseln nutzen, tun dies deutlich mehr Befragte (81,3%) aus den Ortszentren. Bei der Blauen und der Braunen Tonne sind die Unterschiede zwischen den beiden Befragtengruppen nur marginal. Gleichwohl gilt es an dieser Stelle auch darauf hinzuweisen, dass die 418 Befragten aus den WSH nicht für die Grundgesamtheit aller Bewohner des ZAK-Verbandsgebietes stehen: Wie viele Bewohner das WSH-System tatsächlich nutzen, spiegelt sich viel eher in den Angaben der 300 Befragten aus den Ortszentren/Routen wider. Inwieweit dabei allerdings (auch) Tendenzen im Sinne „sozialer Erwünschtheit“ wirken, also einer gewissen Scheu davor, zuzugeben, WSH und Wertstoffsäcke nicht zu nutzen, muss hier eine offene Frage bleiben.



Abbildung 17: Nutzung der Komponenten des ZAK-Erfassungssystems. WSH: Befragung am Wertstoffhof. ORT: Befragung in Ortszentrum. Angaben in Prozent der jeweils Befragten.

Weshalb werden WSH, Wertstoffsäcke und Inseln nicht genutzt?

Immerhin haben 23 Befragte (also 7,7% der Teilstichprobe „Ortszentren“ bzw. 3,2% der Gesamtstichprobe) „bekannt“, dass sie WSH nicht nutzen. Vornehmlich tun sie es aufgrund „(zu) langer Anfahrts-

wege“, „fehlender Transportmöglichkeiten“ (kein Pkw vorhanden) oder „unzureichender Lagermöglichkeiten“ (z.B. zu kleine Wohnungen). **Wertstoffsäcke** werden aus ganz ähnlichen Gründen nicht genutzt – schließlich müssen sie ja zu den WSH verbracht werden. Dieses „Verbringen“ erschien manchem Befragten auch als „zu unpraktisch“; „Säcke reißen leicht“. Elf Befragte meinten schließlich, sie seien erst kürzlich zugezogen und mit dem System (noch) nicht vertraut. Demgegenüber werden **Wertstoffinseln** vor allem von WSH-Besuchern nicht genutzt; denn sie würden ja dort ihre Wertstoffe bzw. Abfälle entsorgen. Gleichwohl bezogen sich 25 Nennungen auch auf mangelnde Praktikabilität bzw. zu große Entfernungen von der Wohnung zu den Inseln.

Wie oft werden WSH besucht, was wird wie angeliefert, welche Strecken werden zurückgelegt?
 Die Anfahrt zum WSH geschieht in aller Regel mit dem Pkw: 97,1% aller Fahrten werden mit dem Auto erledigt. Von allen befragten WSH-Nutzern (N=695) fahren 28% alle zwei Wochen zum WSH, 26,8% kommen 1-mal in der Woche, weitere 25,9% tun dies lt. eigener Angaben ein Mal im Monat. Durchschnittlich werden die WSH 0,56-mal pro Woche angefahren, also etwa einmal alle 14 Tage. Dabei verbindet die überwiegende Mehrheit (73,8%) den WSH-Besuch mit anderen Erledigungen („Kombinationsfahrten“). Demgegenüber nutzt ein Viertel der befragten WSH-Nutzer (26,2%) den Weg zum WSH nie für irgendwelche anderen Aktivitäten – die Fahrt dient also ausschließlich dem WSH-Besuch. Bemerkenswert ist außerdem, dass 128 Befragte (18,4% aller WSH-Nutzer) angaben, regelmäßig auch noch einen zweiten WSH zu nutzen. Im Durchschnitt legen die Befragten 3,0 km zu „ihren“ WSH zurück.

Der **Wertstoffsack** wird von 83 % seiner Verwender bei jedem WSH-Besuch mitgebracht; 12,9% bringen ihn bei jedem zweiten Besuch mit, und 2,6% bei jedem dritten. Fast jeder zweite Befragte (41,2%) bringt dabei nur einen Sack mit; etwa jeder Dritte (35,5%) hat zwei Säcke dabei, und jeder zehnte (12,1%) gibt drei Säcke bei jedem Besuch ab. Weitere 6,1% der Befragten haben sogar vier Säcke dabei. Im Durchschnitt werden, sofern beim WSH-Besuch überhaupt Wertstoffsäcke transportiert werden, 2,05 Stück abgegeben.

Daneben werden aber auch zahlreiche andere Wertstoffe bzw. Abfälle zu den WSH verbracht. Nur 13 von allen 695 befragten WSH-Besuchern gaben an, nie andere Wertstoffe als den grünen Sack mitzubringen. Im Durchschnitt werden von den Besuchern 3,41 Wertstofffraktionen bzw. Abfälle an den WSH abgegeben – wobei aber hinsichtlich der Frequenzen bei den einzelnen Fraktionen große Unterschiede festzustellen sind: Während Altglas, Alu/Blechdosen und Papier von mehr als jedem zehnten Besucher **jede Woche** mitgebracht wurden, wurden Kartons von einem Viertel der Befragten **mehrmals im Monat** angeliefert. Sperrmüll, Gartenabfälle oder Elektrokleingeräte wurden hingegen eher nach Anfall in Monatsetappen, d.h. **mehrmals im Jahr**, antransportiert. Zur besseren Vergleichbarkeit zeigt Tabelle 8 die durchschnittlichen Anlieferungen der Wertstofffraktionen bzw. Abfälle pro Jahr. So transportierte fast jeder zweite Befragte (47,3%; N=329) Sperrmüll zum WSH, und zwar im Durchschnitt 3,45-mal im Jahr. Demgegenüber wurde Altglas von rund einem Drittel (36,5%) antransportiert – und dies geschah im Schnitt über zehnmal pro Jahr.

Tabelle 8: WSH-Anlieferungen von Wertstofffraktionen bzw. Abfällen. (N=695)

	N (%)	Häufigkeit der Abgabe pro Jahr
Sperrmüll	329 (47,3)	3,45
Kartons	286 (41,1)	8,06
Altglas	254 (36,5)	10,61
Dosen (Al/WB)	247 (35,5)	10,05

	N(%)		Häufigkeit der Abgabe pro Jahr
Papier	238	(34,2)	9,94
Grüngut	234	(33,7)	3,97
Elektrokleingeräte	169	(24,3)	1,71
Holz	157	(22,6)	2,27
Metallschrott	115	(16,5)	2,02
Bauschutt	109	(15,7)	1,31
Problemmüll	102	(14,7)	1,26
Styropor	94	(13,5)	1,82
Sonstiges: z.B. Altfett	40	(5,7)	0,79

Wie werden Wertstoffinseln genutzt?

Wie aus Abbildung 17 ersichtlich, nutzen von den WSH-Besuchern nur 68,4% auch Wertstoffinseln; denn sie nehmen neben den Grünen Säcken die anderen Fraktionen bei ihren WSH-Fahrten gleich mit. Befragte aus Zentren/Routen nutzen die Inseln überproportional häufiger (81,3%); denn sie fahren ja auch weniger oft zu WSH und haben es auch näher zu den Inseln als der durchschnittliche WSH-Besucher. Die durchschnittliche Entfernung zur Insel beträgt für Befragte aus Zentren/Routen 484 m, für die befragten WSH-Besucher jedoch 786 m. Dies erklärt, weshalb relativ mehr Zentren-/Routen-Haushalte die Inseln nutzen.

Von den insgesamt 530 Insel-Nutzern (das sind 73,8% der Gesamtstichprobe) werfen 40,3% ihre Wertstoffe ein Mal pro Woche dort ein; etwa jeder zehnte (10,9%) kommt 2- bzw. 3-mal in der Woche; weitere 25,7 % tun dies nur alle zwei Wochen, 14,9% alle vier Wochen. Durchschnittlich werden die Inseln 0,815-mal pro Woche aufgesucht. Tabelle 9 zeigt alle wesentlichen Resultate im Vergleich von Inseln und WSH.

Tabelle 9: Wertstoffhöfe und -Inseln im Vergleich

	Wertstoffinseln	Wertstoffhof
	N= 530 (73,8%)*	N= 695 (96,8%)*
Besuchsfrequenz	0,81-mal pro Woche	0,56-mal pro Woche
Transportmittel	54,3 % meist Pkw 39,4 % meist zu Fuß 6,3% teils Pkw, teils zu Fuß	97 % mit Pkw
zurückgelegter Weg (Durchschnittswert)	648 m	3,0 km
Kombinationen mit anderen Erledigungen	19,3 % der Befragten nur zur Insel 80,7 % „Kombibesuche“	26,2 % nur zum WSH 73,8% „Kombifahrten“
Durchschn. Anzahl an- derer Wertstoffe	-	3,4
		*prozentuiert auf alle 718 Befragte

Anders als bei den WSH, die ganz überwiegend mit dem Pkw angefahren werden, benutzen bei den Inseln nur 54,3% der Befragten meist das Auto, und 39,4% kommen meist zu Fuß oder nutzen das Fahrrad. 6,3% der Befragten nutzen bei 10 „Insel-Besuchen“ 5-mal den Pkw und ebenso häufig kommen sie zu Fuß bzw. mit dem Fahrrad.

Im Durchschnitt liegen die Wertstoff-Inseln 647,7 m von den Wohnungen der Befragten entfernt. Hier zeigt sich, dass mit wachsender Entfernung zur Insel auch die Pkw-Nutzung signifikant ansteigt. Daneben gilt: Je häufiger der Pkw zur Anfahrt genutzt wird, umso häufiger wird der Insel-Besuch auch mit anderen Erledigungen verbunden; und je weiter die Insel von der Wohnung entfernt liegt, umso häufiger wird der Weg auch mit Erledigungen verbunden: Etwa jeder fünfte Befragte (19,3%) verbindet den Weg zur Wertstoffinsel nie mit anderen Erledigungen (allein schon aufgrund der Nähe zur Wohnung scheint es gar nicht lohnend, etwas anderes zu machen). Demgegenüber verbinden 80,7% der Befragten ihren Inselbesuch mit anderen Aktivitäten (38,9% tun dies „immer“, 21,2 % „meistens“; weitere 11,2% der Interviewten in etwa 50% der Fälle und fast genauso viele (9,4%) tun dies „manchmal“, d.h. in etwa 25% der Wege zur Wertstoffinsel).

11.2 Zufriedenheit mit dem derzeitigen Erfassungssystem

Abbildung 18 zeigt, dass das heutige System der Wertstoffsammlung von den Befragten sehr positiv beurteilt wurde: 83 % haben das System auf einer Zufriedenheits-Skala von 1 „völlig zufrieden“ bis 5 „sehr unzufrieden“ mit den Werten 1 und 2 bewertet; nur 5% sind (sehr) unzufrieden. Zudem halten 89 % der Befragten das heutige System „insgesamt für besser“ als die Situation vor dem 1. Januar 2010, als es noch keinen Wertstoffsack gab (WSH alt).

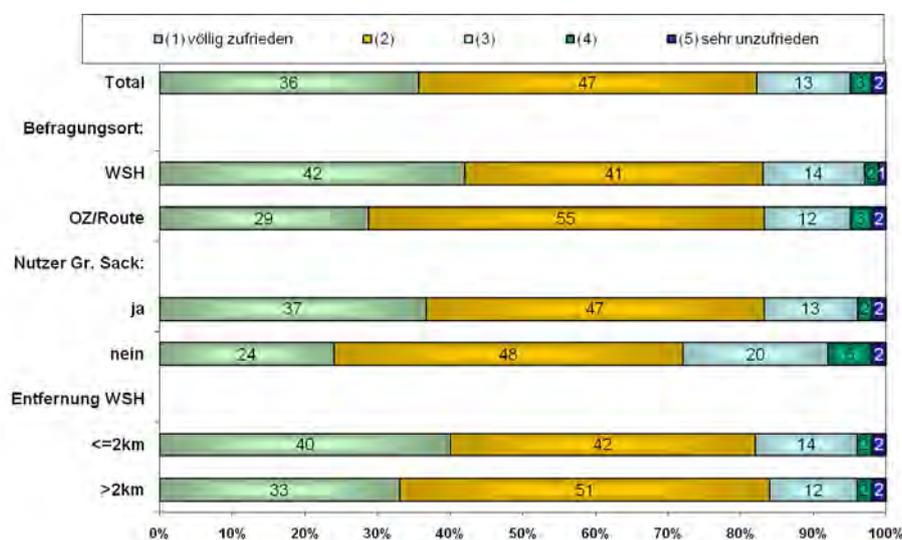


Abbildung 18: Zufriedenheit mit dem aktuellen ZAK-System (WSH neu). OZ/Routen: Ortszentren/Routen

Abbildung 18 zeigt auch, dass die befragten WSH-Besucher häufiger den Top-Wert 1 („völlig zufrieden“) vergaben als Befragte aus Ortszentren/Routen (42% vs. 29%), wobei ein Mittelwertsvergleich (1,81 vs. 1,96) auf keine statistisch bedeutsamen Unterschiede hinweist. Dies gilt auch für die Entfernung: Personen, die weniger als 2 km zum WSH zurücklegen (müssen), bewerten das System nicht signifikant besser oder schlechter als solche, die mehr als 2 km zum WSH fahren (Mittelwerte: 1,84 vs.

1,88). Lediglich beim Vergleich der Nutzer und Nicht-Nutzer des Wertstoffsacks wird offenkundig, dass Nicht-Nutzer das System schlechter bewerteten als „Wertstoffsack-Nutzer“ (2,14 vs. 1,85).

Differenzierte Analysen bezüglich der Soziodemographie machen deutlich, dass Männer (noch) zufriedener sind mit dem derzeitigen System als Frauen (1,76 vs. 1,98); umgekehrt sind jüngere Personen weniger zufrieden als ältere – am besten beurteilte die Altersgruppe der 50 – 69-Jährigen das aktuelle ZAK-System. Die insgesamt hohe Zufriedenheit mit dem ZAK-System zeigt sich auch in der Beurteilung des WSH-Personals und der Öffnungs- bzw. Wartezeiten (Abbildung 19).

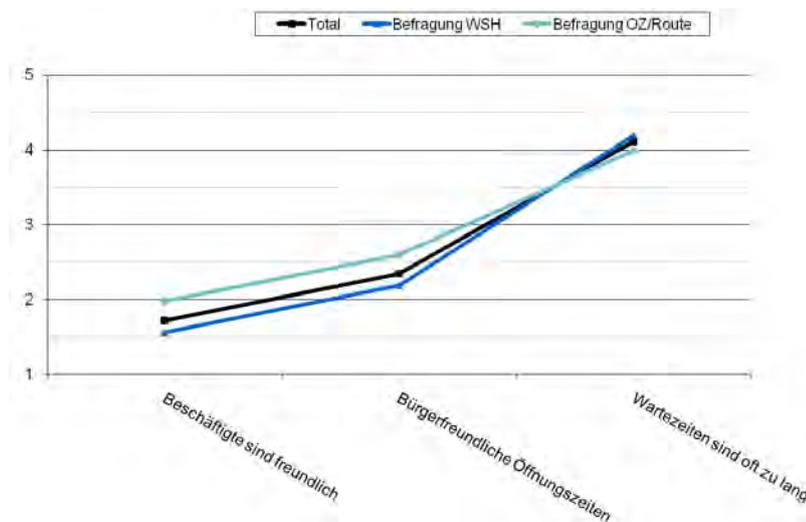


Abbildung 19: Bewertung des WSH-Personals, der Öffnungs- und Wartezeiten. 1 = stimme voll und ganz zu; 2 = in etwa; 3 = teilweise; 4 = eher nicht; 5 = überhaupt nicht

Während das WSH-Personal als ausnehmend freundlich eingeschätzt wurde (von WSH-Besuchern tendenziell sogar noch freundlicher als von den Befragten aus Ortszentren/Routen), wurden die Öffnungszeiten „nur“ mit einer „2“ bewertet. Insbesondere Befragte aus Ortszentren/Routen bewerteten diese Zeiten nicht immer als „sehr bürgerfreundlich“. Analog wurden die Wartezeiten eingeschätzt; die meisten erlebten sie als keinesfalls zu lang – aber längst nicht alle Befragten waren dieser Meinung.

So gingen dann auch trotz der sehr hohen Zufriedenheit (83%) mit dem aktuellen System die geäußerten Verbesserungsvorschläge in eine solche Richtung: Knapp ein Drittel der Befragten (29%) nannte nämlich Ideen, wie es noch verbessert werden könnte. Mehr als die Hälfte (51,7%) nannten auf die offene Frage (Frage 15) die Ausweitung der Öffnungszeiten; weitere 36,8% wünschten sich die Abholung der Wertstoffe. Fast jeder fünfte Verbesserungsvorschlag (17,2%) bezog sich auf die Säcke an sich, die zu leicht reißen würden.

11.3 Beurteilung alternativer Szenarien: LVP-Holsysteme und Wertstofftonne

Vor die Alternative gestellt, statt des Wertstoffsacks eine Gelbe Tonne oder Gelbe Säcke mit kostenloser Abholung alle vier Wochen zu nutzen, wollte ein Drittel der Befragten (35%) den heutigen Wertstoffsack behalten. Etwa genauso viele präferierten die Gelbe Tonne (36%), etwas weniger (29%) den Gel-

ben Sack. Dies bedeutet, dass eine deutliche Mehrheit der Befragten (65%) ein („gelbes“) Holsystem bevorzugt.

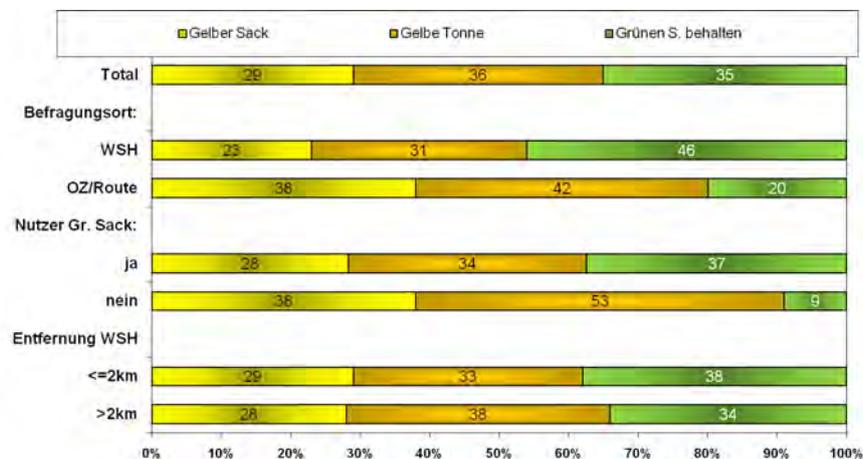


Abbildung 20: Präferenzen Gelber Sack, Gelbe Tonne vs. aktuelles ZAK-System. OZ/Routen: Ortszentren/Routen.

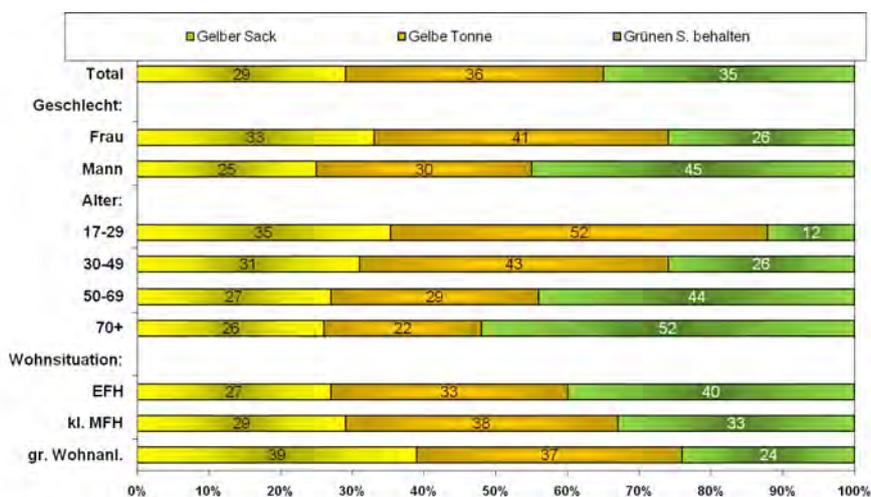


Abbildung 21: Soziodemographie und Präferenzen Gelber Sack, Gelbe Tonne vs. aktuelles ZAK-System. OZ/Routen: Ortszentren/Routen. EFH: Einfamilienhaus. MFH: Mehrfamilienhaus.

Wie Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen, hielten überproportional viele der am WSH Befragten am aktuellen System des ZAK fest (46% vs. 20% der Ortszentrum/Routen-Befragten). Ebenso gab es unter den befragten Nutzern des Wertstoffsacks eine stärkere Affinität zum aktuellen System als bei den „bekennenden“ Nicht-Nutzern (37% vs. 9%); auch die Wohnsituation spielt hier eine wichtige Rolle, weil Befragte aus größeren Wohnanlagen wesentlich häufiger ein Gelbes Holsystem präferieren als Bewohner von Einfamilienhäusern (76% vs. 60%).

Schließlich hielten mehr Männer als Frauen und mehr ältere Befragte als jüngere am „grünen Bringsystem“ fest, während die Entfernung zum WSH wiederum keine Rolle spielt. Es ist sogar so, dass diejenigen, die „grün“ beibehalten wollen, ca. 6- bis 7-mal öfter pro Jahr zum WSH fahren – offenbar (auch)

aus anderen Gründen. Jedenfalls stellt für sie die Fahrt zum WSH mit der Abgabe des grünen Sacks keinesfalls „Inconvenience“ dar, weshalb sie eher dazu geneigt sind, ihn zu behalten. Aus den qualitativen Tiefenexplorationen ist bekannt, dass der Besuch des WSH durchaus auch kommunikative und soziale „Benefits“ bereithält: Man kann sich dort mit dem Personal „nett unterhalten“, trifft Nachbarn etc.

Die Gelbe Tonne stieß vor allem dann auf Vorbehalte, wenn die Befragten fürchteten, nicht ausreichend Stellplatz dafür zur Verfügung zu haben. Demgegenüber wurde die Sorge, „mit einer Gelben Tonne ein zu geringes Fassungsvermögen“ zu haben, kaum geteilt: alle Befragten, egal welche Variante sie präferierten, sahen dieses mögliche Defizit „eher nicht“. Ebenso wenig empfanden es die Befragten als problematisch, „warten zu müssen, bis die Gelbe Tonne oder der Gelbe Sack abgeholt wird“.

Dass man „sich mit der Gelben Tonne bzw. dem Gelben Sack wegen der Abholung viel Zeit einsparen“ könne, bezweifeln vor allem diejenigen, die den grünen Sack behalten wollten. Demgegenüber versprachen sich die Befürworter der Gelben Systeme diesen Effekt durchaus.

Diejenigen Befragten, die gerne auf „Gelb“ umstellen würden, erwarteten überproportional häufig den positiven Effekt, „dass weniger Wertstoffe als bisher im Restmüll landen werden“. Verfechter des Wertstoffsacks gingen davon deutlich seltener aus.

„Dass die Leute die Wertstoffe, die nicht in die Gelbe Tonne dürfen, nicht mehr zum Wertstoffhof bringen, sondern in den Restmüll werfen“ – diese Sorge wurde wiederum von den Verfechtern des grünen Sacks überproportional häufig geteilt.

Demgegenüber wurden Befürchtungen, dass bei Einführung von Gelber Tonne / Gelber Sack „selbst Problemmüll wie Batterien oder Lackfarben im Restmüll entsorgt“ würden, weder in nennenswertem Maß geteilt, noch unterschieden sich hier die Befragten hinsichtlich ihrer Präferenzen.

Die Sorge, dass Gelbe Säcke „die Umgebung verschandeln bzw. Tiere anlocken“ könnten, wurde vor allem von den Befürwortern der Gelben Säcke nicht gehegt. Ein wenig deutlicher vertraten die Befürworter der Gelben Tonne diese Auffassung; und noch etwas stärker tendierten die Befragten, die das Bring-System grüner Sack behalten wollten, zu dieser Meinung.

Würde das Gelbe System eingeführt, würden damit auch die WSH-Besuche weniger werden?
Aktuell werden mit dem grünen System die WSH im Durchschnitt 0,56-mal pro Woche angefahren, also etwa alle 14 Tage ein Mal. Würde auf „Gelb“ umgestellt, dann würde nach Meinung der Befragten diese Besuchsfrequenz deutlich sinken, und zwar um etwa die Hälfte (auf 0,28 Besuche pro Woche; das entspricht ca. einem Besuch im Monat). Lediglich diejenigen, die den Grünen Wertstoffsack behalten wollen, würden auch nach Einführung des Gelben Holsystems trotzdem noch 0,41-mal pro Woche den WSH aufsuchen – das entspräche etwa einem 2- bis 3-wöchigen Turnus. Demgegenüber würden die Befürworter des Gelben Systems deutlich weniger WSH aufsuchen: Im Schnitt wäre dann ein etwa 5-wöchiger Turnus zu erwarten.

Wer möchte die Wertstofftonne (WST)?

Vor die Wahl gestellt, ob den Befragten die WST noch lieber wäre als ihre ersten Präferenzen, zeigte sich folgendes Bild (Abbildung 22).

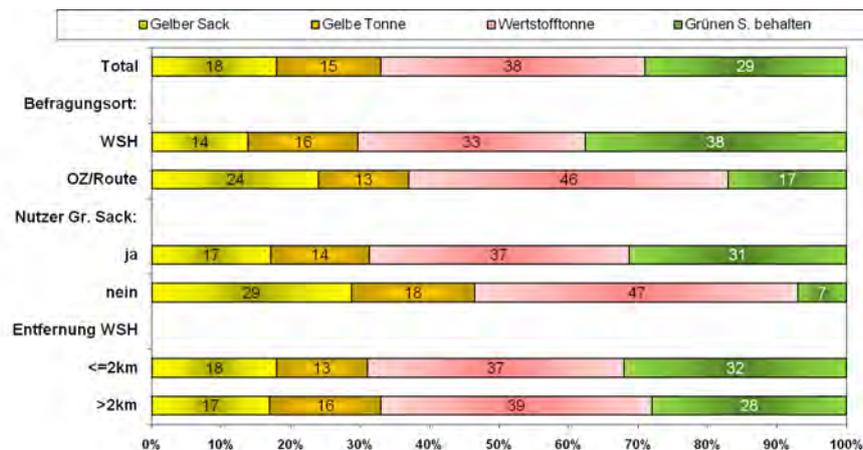


Abbildung 22: Präferenzen nach Vorstellung der Wertstofftonne. OZ/Routen: Ortszentren/Routen.

Die beiden Gelben Systeme – zuvor noch von insgesamt 65% der Befragten präferiert – kamen nach Vorstellung der Wertstofftonne (WST) nur noch auf 33%. Das aktuelle System Grüner Sack verliert Präferenzanteile, und zwar von 35% auf 29%. Die Wertstofftonne wird von 38% der Interviewten und damit auf Platz 1 gewählt, und zwar überproportional häufig von bisherigen Nicht-Nutzern des Grünen Wertstoffsacks, von Befragten aus Ortszentren/Routen, häufiger von Frauen als von Männern, von Jüngeren als von Älteren und wiederum häufiger von Bewohnern größerer Wohnanlagen. Festzuhalten ist zudem, dass sich insgesamt 71% für eines der drei Holsysteme entscheiden, nur 29% wollen das aktuelle System des Grünen Wertstoffsacks behalten.

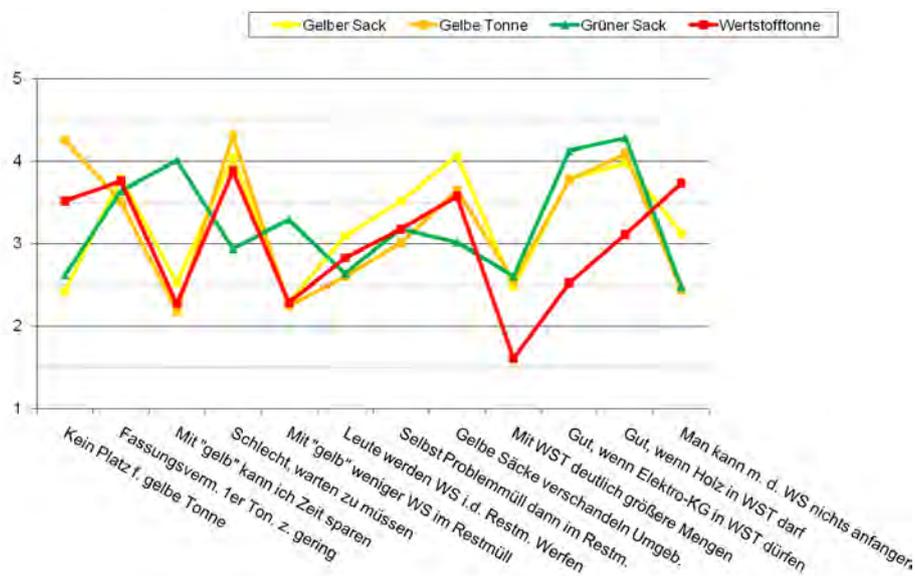


Abbildung 23: Einschätzungen der Szenarien. 1 = stimmt voll und ganz; 2 = in etwa; 3 = teilweise; 4 = eher nicht; 5 = überhaupt nicht

Bezogen auf das **Szenario Wertstofftonne** zeigt Abbildung 23 folgendes:

- „Mit der Wertstofftonne werden deutlich größere Wertstoffmengen erfasst“: Davon waren die Befürworter der WST stärker überzeugt als die anderen Befragten.
- „Ich finde es gut, wenn auch noch Elektrokleingeräte in diese Tonne dürfen“: Unvorstellbar für die Verfechter des Wertstoffsacks; relativ gut vorstellbar wiederum für die WST-Befürworter, weniger gut hingegen für Befragte mit Präferenzen für die „Gelben Systeme“.
- „Ich finde es gut, wenn auch noch Holz in diese Tonne darf“: Holz in der Tonne – eine Idee, die im Grunde niemand wirklich gut findet; am ehesten noch die Verfechter der WST.
- „Wenn alles in einer Tonne ist, kann man mit den Wertstoffen nichts mehr anfangen“. Zu dieser Auffassung tendieren v.a. die Verfechter des grünen Sacks. Nicht so recht daran glauben wollen wiederum die potenziellen WST-Nutzer.

Für die **Befürworter des aktuellen (Bring-)Systems** mit dem Wertstoffsack ist es ein gewichtiges Argument, für eine weitere Tonne gar keinen Platz zu haben. Sie glauben auch weniger daran, dass mit einem Gelben System weniger Wertstoffe im Restmüll landen (vermutlich glauben sie, dass derzeit jeder diese Wertstoffe zur Insel bringt). Einige von ihnen fänden es schlecht, den Zeitpunkt der Entsorgung nicht mehr selbst bestimmen zu können, sondern auf die Abholung warten zu müssen. Insgesamt stellt dies jedoch kein gravierendes Problem für sie dar. Der deutlichste Unterschied zwischen ihnen und den Befürwortern der Holsysteme liegt im Aspekt „Zeit“. Hier glauben die Befürworter des grünen Sacks kaum an eine nennenswerte Zeitersparnis. Demgegenüber ist dies für die Befürworter der Holsysteme offenbar das wichtigste Argument dafür.

Insgesamt zeigt sich in der skalierten Beurteilung, dass diejenigen, die nicht die Wertstofftonne, sondern eines der anderen Systeme bevorzugen, recht homogen nicht daran glauben, dass mit dem System der Wertstofftonne deutliche größere Mengen erfasst würden. Sie sind auch eher der Ansicht, dass man „mit den Wertstoffen gar nichts mehr anfangen“ könne, wenn alles in eine Tonne darf. Dies ist vermutlich auch der Grund dafür, dass ihnen die Sammlung von E-Geräten und Holz eher suspekt ist. Es wäre hier sicherlich Aufklärungsarbeit nötig, um dem Bürger nahezubringen, dass das jahrelang gelernte Trennen mit Einführung der Wertstofftonne z.T. obsolet würde.

12 Transfer auf die LVP-Erfassung in Bayern

12.1 Umweltwirkungen

Stand LVP-Erfassung in Bayern

Die Erfassung von LVP in städtischen und großstädtischen Gebietskörperschaften erfolgt zu über 80 % im Holsystem. Die LVP-Erfassung über frei zugängliche Container ist dagegen von untergeordneter Bedeutung. Insgesamt erfassen städtische und großstädtische Gebietskörperschaften 23 % der gesamten in Bayern erfassten LVP-Menge. In den ländlich und ländlich-dichten Regionen fallen dagegen 77 % der Gesamtmenge an, die zu 69 % über Holsysteme und zu 31 % über unterschiedliche ausgestaltete Bringsysteme erfasst werden.

Mit Blick auf die einwohnerbezogen erfassten Mengen bestehen keine erheblichen Unterschiede zwischen den Holsystemen in städtischen und ländlichen Gebieten. Dagegen können, je nach Ausgestaltung, die im Bringsystem erfassten Mengen deutlich schwanken. Die mit Blick auf die erfassten Mengen relevanten Ausprägungen – Wertstoffhöfe in ländlichen Gebieten beziehungsweise Wertstoffhöfe mit Unterstützung in ländlich-dichten Gebieten – liegen zwischen 12,4 und 17,8 kg/Ew.

Szenarien zur LVP-Erfassung in Bayern

Im Folgenden beleuchtet bifa orientierend die Auswirkungen der am Beispiel des ZAK Kempten untersuchten Wertstofffassungssysteme bei einer fiktiven, flächendeckenden Umsetzung in Bayern anhand dreier Modelle:

- Modell Bayern Ist: Aktuelle Situation einer gemischten Erfassung von LVP in Bring- oder Holsystemen
- Modell Bayern Holsystem: Fiktive Situation einer LVP-Erfassung ausschließlich im Holsystem in ganz Bayern ohne Berücksichtigung der Einführung einer Wertstofftonne
- Modell Bayern Wertstofftonne: Fiktive Situation der flächendeckenden Einführung der LVP-Erfassung ausschließlich über die Wertstofftonne.

Zur Beschreibung dieser bayernweiten Modelle für die LVP-Erfassung werden die für die Szenarien WSH alt, Gelber Sack und Wertstofftonne ermittelten Sammel- und Wertstoffmengen näherungsweise übernommen. Der ZAK Kempten ist mit einer Bevölkerungsdichte von 154 Ew/km² im Ganzen betrachtet eine ländlich-dichte Region, weist aber auch städtische und ländliche Gebietsstrukturen auf. Die für das Szenario Gelbe Tonne ermittelte Sammelmenge von 24,5 kg/Ew beschreibt, unabhängig von der Gebietsstruktur, gut die im Holsystem zu erwartende Sammelmenge auch in städtischen und ländlichen Gebieten. Mögliche, höhere Fehlwurfanteile und damit verbundene höhere Anteile an Sortierresten in den gesammelten Mengen speziell aus großstädtischen Regionen sind in der orientierenden Betrachtung nicht berücksichtigt. Über die Holsysteme werden in Bayern nahezu 75 % der gesamten LVP-Menge erfasst.

Ebenso beschreibt die Sammelmenge von 13,8 kg/Ew im Bringsystem-Szenario WSH alt im Mittel gut die Wertstofffassung in den unterschiedlich gestalteten Bringsystemen in ländlichen beziehungsweise

se ländlich-dichten Gebieten. Zwar weichen die erfassten Mengen im Bringsystem städtischer und großstädtischer Regionen deutlich von diesem Wert ab. Da diese mengenbezogen aber von geringer Bedeutung sind, werden die Erfassungsmengen in diesen Gebietsstrukturen ebenfalls über den genannten Wert genähert.

Für das Modell Wertstofftonne werden eine Sammelmenge von 28 kg/Ew und die korrespondierenden Wertstoffanteile aus dem Szenario Wertstofftonne angenommen. Grundlage für die Ableitung der Sammelmenge sind die Wertstoffanteile im Hausmüll in ländlich beziehungsweise ländlich-dichten Regionen. Die Wertstoffgehalte im Hausmüll aus städtischen und besonders aus großstädtischen Gebieten in Bayern sind nicht bekannt. Dementsprechend wird für diese Regionen vereinfachend die genannte Sammelmenge angenommen. Die Abschätzung für die zusätzlich zu erwartenden Wertstoffanteile ist daher tendenziell konservativ.

In der folgenden Tabelle sind im Vergleich der Modelle die Art der LVP-Erfassung und die erfassten LVP-Mengen einwohnerbezogenen und absolut dargestellt. Im Modellvergleich sind zusätzlich die korrespondierenden Hausmüllmengen und die getrennten erfassten stoffgleichen Nichtverpackungen zu berücksichtigen. In jedem Modell wird damit die Entsorgung von 353.414 t Abfällen und Wertstoffen betrachtet.

Tabelle 10: Wertstoff-Erfassung, LVP-, Hausmüll und berücksichtigte Schrottmengen im Modellvergleich. Einwohner Bayern: 12.497.082.

	Bayern LVP-Ist	Bayern LVP-Holsystem	Bayern Wertstofftonne
Erfassung Holsystem [%-erfasste Menge]	73%	100%	0%
LVP-Erfassung Bringsystem [%-erfasste Menge]	27%	0%	0%
Wertstofftonne [%-erfasste LVP/StNVP-Menge]	0%	0%	100%
LVP/StNVP-Menge in getrennter Sammlung für Duale Systeme [kg/Ew]	24,5 (Holsystem) / 13,8 (Bringsystem)	24,5	28,0
Hausmüll-Menge [kg/Ew]	2,7 / 13,3	2,7	0
kleinteiliger Schrott [kg/Ew]	1,07 / 1,17	1,07	0,32
LVP-Menge [t]	249.126	306.605	349.389
Hausmüll-Menge [t]	90.344	33.393	0
Kleinteiliger Schrott [t]	13.944	13.417	4.025

Durch die flächendeckende Einführung von Holsystemen zur LVP-Erfassung würden ca. 57.000 t an Wertstoffen und Hausmüllbestandteilen, die heute der Restmüllentsorgung zugehen, getrennt erfasst und sortiert. Durch die Einführung der Wertstofftonne beträgt die Steigerung der getrennt erfassten Wertstoffmenge auf Kosten der Hausmüllmenge bei konservativer Abschätzung ca. 100.000 t.

Die folgende Abbildung zeigt auf Basis der geschilderten Annahmen, das Ergebnis des umweltbezogenen Vergleichs als aggregierte Darstellung über alle Umweltwirkungen.

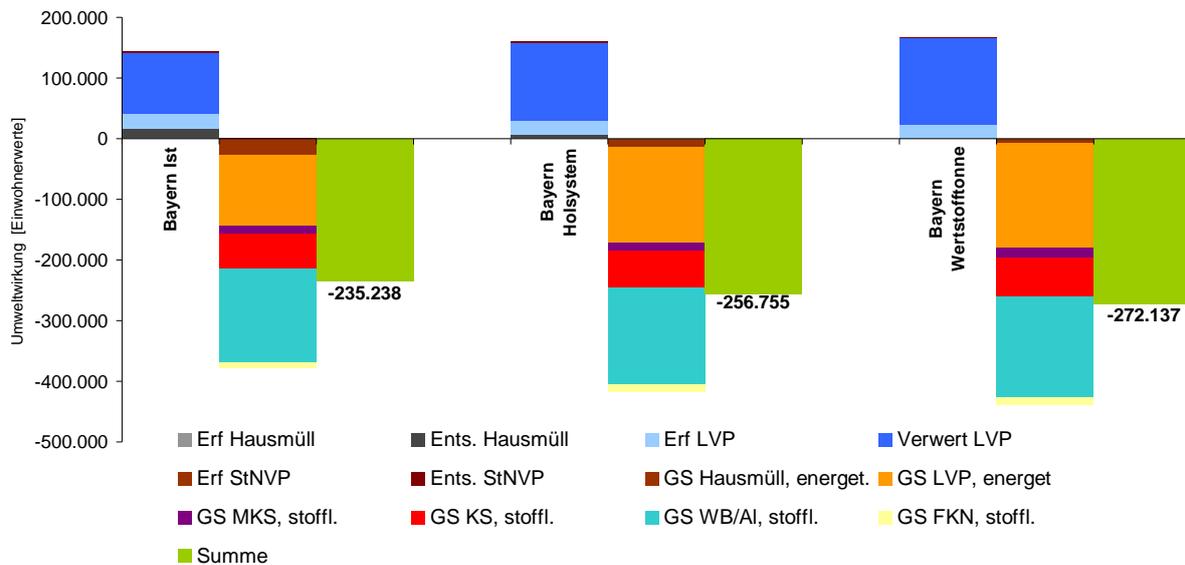


Abbildung 24: Modelle zur LVP-Erfassung in Bayern. Normierte Umweltwirkungen als Einwohnerwerte differenziert nach Herkunftsbereich. Bezugseinheit: Entsorgung von 353.414 t an Hausmüll, LVP und StNVP in der für das jeweilige Modelle angenommenen Aufteilung. Negative Einwohnerwerte repräsentieren Umweltentlastungen. GS: Gutschrift. Erf: Erfassung. Ents: Entsorgung. MKS: Mischkunststoff. KS: Kunststoff. FKN: Getränkekarton. WB/Al: Weißblech/Aluminium

Die flächendeckende Einführung des LVP-Holsystem beziehungsweise die flächendeckende Einführung der Wertstofftonne haben das Potenzial die Umweltentlastungen im Vergleich zur gegenwärtigen Situation der Erfassung von LVP im Bring- und Holsystem zu steigern. Die Steigerung der Umweltentlastung würde im Modell Holsystem 7 % und im Modell Wertstofftonne 16 % im Vergleich zur aktuellen Situation betragen.

Die Vorteile der Holsysteme liegen in den etwas höheren Wertstoffmengen, die insbesondere aus Mischkunststoffen besteht, die der stofflichen oder energetischen Verwertung bei hohen Wirkungsgraden zugeführt werden können.

Für die Behandlung von Hausmüll in einer thermischen Behandlungsanlage werden mit Blick auf die Energieerzeugung Wirkungsgrade entsprechend dem Durchschnitt aus allen bayerischen MVA angenommen. Für die Rückgewinnung von FE- und NE-Anteilen aus der MVA-Asche werden die Parameter der aus Kapitel 6.4 übernommen.

12.2 Entsorgungskosten

Mittels des Kostenbeispiels ZAK lassen sich keine unmittelbaren Schlüsse auf die gesamtbayerische Situation hinsichtlich der Ökoeffizienz des gängigen Wertstoffhofsystems im Vergleich zu alternativen Systemvarianten ziehen. Für eine Übertragung der Ergebnisse auf bayernweite Verhältnisse wären folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Individuelle Gestaltbarkeit des Wertstoffhofes hinsichtlich Personal und „Hardware“ seitens der öRE: Wie bereits bemerkt wurde, ist das aufwändige Wertstoffhofsystem des ZAK (ähnlich zum Beispiel Miesbach und Passau) für eine angenommene bayernweite Betrachtung aus Sicht der Entsorgungskosten wenig repräsentativ;

- Individuelle Kosten bei Systemumstellung (Umstellungskosten, Leerkosten) beziehungsweise individuelle Variabilität der Leistungseinschränkung des abzulösenden Systems (d.h. verbleibende Leistungen beziehungsweise Kosten) beim jeweiligen öRE:
So kann in einem Fall weitgehende Kostenremanenz – d.h. bestehende Fixkosten lassen sich nur bedingt an neue Randbedingungen anpassen – vorherrschen, so dass alternative Systeme mit Umstellungs- beziehungsweise Leerkosten sehr hoch belastet werden. Diese Situation ist tendenziell beim ZAK gegeben mit den weitgehend fixen Transport- und Entsorgungskosten für Restmüllanteile und der partiellen Kostenremanenz beim Wertstoffhofsystem. Im anderen Fall hingegen kann weitgehende Kostenvariabilität gegeben sein, so dass alternative Systeme mit Umstellungs- beziehungsweise Leerkosten überhaupt nicht belastet werden.

Der ZAK geht bei der angenommenen möglichen Einführung eines Holsystems von hohen Kostenremanenzen aus, die insgesamt zu einer Kostensteigerung beim Wechsel zum Holsystem führen würden. Demgegenüber ist es denkbar, dass in entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften, beispielsweise mit gering ausgebautem Bringsystem und einer Weitergabe der Hausmüllmengen, keine oder minimale Fixkosten beim Wechsel zum Holsystem bestehen blieben. In diesen Fällen könnte die Einführung eines Holsystems zu Kosteneinsparungen für die entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften führen.

12.3 Akzeptanz

Die Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Befragungen zeigen, dass in einer ländlich-dichten Region wie dem ZAK-Verbandsgebiet ein Bringsystem auf eine bemerkenswert hohe Akzeptanz stoßen kann (Zufriedenheitswerte von über 80%). Dies mag in dieser Höhe zum Teil dem vorherigen, für den Bürger aufwändigen und recht komplizierten Trennsystem geschuldet sein – gegenüber diesem bietet das aktuelle System tatsächlich eine spürbare Erleichterung und motiviert die Bürger durchschnittlich alle zwei Wochen die Wertstoffhöfe aufzusuchen. Gleichwohl zeigen auch andere Untersuchungen – wie z.B. die 2009 von der Universität Stuttgart im Landkreis Böblingen durchgeführte Bürgerbefragung, dass ein Wechsel zu einem Holsystem längst nicht für jeden Befragten „selbstverständlich“ ist. So antworteten im Landkreis Böblingen 41% der Befragten, dass ihnen ein Wechsel zu einem „Holsystem insbesondere für Kunststoffverpackungen und Tetrapacks“ nicht lieber sei. 37% der Befragten wären dazu bereit, weitere 22% würden dafür sogar eine Gebührenerhöhung in Kauf nehmen.

Von daher lassen sich die Befunde zum WSH-System mit dem Wertstoffsack auf die anderen ländlichen und ländlich-dichten Gebiete Bayerns durchaus übertragen: Vor die Wahl gestellt, präferiert zwar die Mehrheit Holsysteme, dennoch haben auch Bringsysteme durchaus ihren Platz – mit Blick auf die Soziodemographie vor allem bei Männern, bei Personen zwischen 50 und 70 sowie bei Bewohnern von Einfamilienhäusern. Die Untersuchung zeigt aber auch, dass Wertstoffhöfe nicht allein wegen der Wertstoffsäcke stark frequentiert werden, auch zahlreiche andere Wertstofffraktionen bzw. Abfälle werden dorthin gebracht.

Jedoch lassen sich die Ergebnisse auch dahingehend interpretieren, dass in großstädtischen Agglomerationen diese Systeme nicht nur an Kapazitätsgrenzen, sondern auch an Akzeptanzgrenzen stoßen würden: Es sind vor allem die Bewohner größerer Wohnanlagen, die sich überproportional häufig dem Bringsystem verweigern und jedes Holsystem präferieren (würden) – so auch die Wertstofftonne. Diese stößt dennoch auf große Vorbehalte; denn die Vorstellung, „alles zusammen zu schmeißen“ wider-

spricht nicht nur dem seit vielen Jahren etablierten und überaus positiv besetzten Gedanken der Abfalltrennung und löst bei den Befragten selbst damit großes Unbehagen aus. So äußerten sich auch alle sechs im Rahmen der Tiefenexploration qualitativ Befragten mehr oder weniger skeptisch über die Wertstofftonne:

- „Man wurde jahrelang darauf konditioniert, wirklich alles ganz genau zu trennen, und jetzt darf plötzlich alles wieder zusammen?“
- „Es besteht die Gefahr, dass dann alles reingepackt wird, weil ja so viel erlaubt ist.“
- „Also, ich traue der Sache gar nicht, ich finde das unordentlich. Ich kann mir das gar nicht vorstellen, wie die das wieder auseinanderkriegen! Schade um das schöne Holz.“
- „Unnötig. Man muss das ja auf irgendwelchen Sortierbändern wieder auseinanderklauben, und ich finde das eigentlich Blödsinn.“
- „Ob da noch viel Umweltschutz gilt? Da hat man ja einen Riesenaufwand, das alles wieder zu trennen!“

Wollte man also die Wertstofftonne tatsächlich flächendeckend einführen, so wäre intensive Überzeugungs- und Aufklärungsarbeit zu leisten.

13 Fazit: Chancen und Risiken

Grundlage zur Beschreibung der Bringsystem-Szenarien bilden die Angaben zur Kostensituation und den erfassten Wertstoffmengen für das ländlich-dichte Entsorgungsgebiet des ZAK. Für die Beschreibung der Verwertung und der Holsystemszenarien müssen deutschland- beziehungsweise bayernweit gültige Annahmen auf die Situation im ZAK übertragen werden. Die Bring- und Holsystemszenarien sind damit so beschrieben, dass sie für eine Darstellung der mit der LVP-Erfassung verbundenen Umweltwirkungen in ländlichen und ländlich-dichten Gebieten – in denen 77 % der LVP-Gesamtmenge in Bayern erfasst werden – gut geeignet sind.

Die ermittelten Entsorgungskosten sind dagegen in quantitativer Betrachtung sehr spezifisch für den ZAK. Dennoch zeigt der Szenarienvergleich die Stellschrauben, die bei der Übertragung der Kostenbetrachtung auf andere Gebietskörperschaften zu berücksichtigen sind.

Die durchgeführte quantitative Befragung liefert in der realisierten Tiefe und Belastbarkeit erstmalig Informationen zu Nutzung und Akzeptanz des Bringsystems zur LVP-Erfassung in einer bayerischen Gebietskörperschaft.

Der Vergleich der vier Szenarien hat das Umfeld der Erfassung von LVP und StNVP anhand der Faktoren Umweltwirkungen, Entsorgungskosten der öRE, Akzeptanz und Nutzerverhalten beleuchtet. Vor diesem Hintergrund fasst die folgenden Übersicht zusammen, welche Chancen und Risiken für die LVP-Erfassung im Bring-/Holsystem oder gemeinsam mit StNVP bestehen.

Tabelle 11: Chancen und Risiken der untersuchten Strategien zur LVP-Erfassung aus Sicht von Ökologie, Ökonomie und Akzeptanz. MKS: Mischkunststoffe

LVP-Erfassung Bringsystem	
	<ul style="list-style-type: none"> • Sortenreine Annahme von Kunststoffen ermöglicht höhere Ausbeuten in der Verwertung • Gemischte LVP-Erfassung mobilisiert Wertstoffe (v.a. MKS) bei geringem Fehlwurfanteil • Gemischte LVP-Erfassung senkt Personalaufwand am Wertstoffhof • Hohe Zufriedenheit, Gewohnheit und positive Beurteilung
	<ul style="list-style-type: none"> • Individualverkehr zur Anlieferung ist umweltbelastender als der Einsatz eines Sammelfahrzeuges • Nur bei Entsorgung der nicht getrennt erfassten Wertstoffe in einer MVA mit hoher Energieeffizienz und FE-/NE-Abscheidung umweltbezogen konkurrenzfähig • Gemische LVP-Erfassung erfordert Sortierung • Kostenerstattung durch Duale Systeme volatil • Schwierigkeit Problemgruppen zu erreichen, Ausgrenzung von Älteren und Personen ohne Pkw
LVP-Erfassung Holsystem	
	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilisierung zusätzliche Wertstoffe (v.a. MKS) • Hochwertige stoffliche Verwertung von MKS stärkt Umweltvorteile • Mehr Komfort und Zeitersparnis, damit größere Akzeptanz • Stärkere Beteiligung, insbesondere von Problemgruppen
	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von MKS als Energieträger anstelle der hochwertigen stofflichen Verwertung mindert Umwelteffizienz • Bei Umstellung auf Holsystem bleiben Fixkosten bei Hausmüllentsorgung/Wertstoffhöfen bestehen (→ Kostenremanenz) • Platzprobleme aufgrund zusätzlicher Tonne insbesondere in Mehrfamilienhäusern

- Abholfrequenz kann durch Bürger nicht selbst bestimmt werden

Wertstofftonne

- Im Vergleich höchster Grad der Wertstoffeffassung und höchste Umweltentlastung
- Reduzierung der Hausmüllmenge
- Stärkere Beteiligung von Jüngeren und Bewohnern großer Wohnanlagen
- Mengenpotenzial aus Hausmüll in ländlichen Gebieten gering
- Dienstleistungskosten für Entsorgung von StNVP und Verpackungen ohne Lizenzierung
- Bei Umstellung auf Holsystem bleiben Fixkosten bei Hausmüllentsorgung/Wertstoffhöfen bestehen (→ Kostenremanenz)
- Platzprobleme aufgrund zusätzlicher Tonne insbesondere in Mehrfamilienhäusern
- Akzeptanzprobleme: Alles in einer Tonne: widerspricht dem etablierten und als positiv empfundenen Konzept der Abfalltrennung

14 Literatur

- [bifa 2003] Pitschke, T.; Roth, U.; Hottenroth, S.; Rommel, W.: Optimierung von Entsorgungsstrukturen. Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik GmbH im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. Augsburg 2003.
- [HTP/IFEU 2002] HTP Ingenieurgesellschaft für Aufbereitungstechnik und Umweltverfahrenstechnik, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen. Ufoplan Nr. 29833719. Heidelberg Aachen.
- [UBA 1999] Umweltbundesamt: Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Version'99. Texte 92/99. Umweltbundesamt: Berlin 1999.
- [UBA 2011] cyclos GmbH und HTP GmbH: Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung, TV 01: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne. Vorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 3710 93 313 1). Dessau-Roßlau, Februar 2011.

15 Anhang: Ökoeffizienzanalyse

15.1 Methodik ökobilanzielle Betrachtung

15.2 Erstellung Sachbilanz

Um die Vergleichbarkeit der Entsorgungssysteme zu gewährleisten, müssen neben der Festlegung der funktionellen Einheit auch die Grenzen der Betrachtung für die zu vergleichenden Szenarien konsistent definiert sein.

Prozesse

Folgende Prozesse sind innerhalb der Systemgrenzen zu berücksichtigen:

- Alle Prozesse von der Erfassung der beschriebenen Abfallfraktionen aus den Haushalten, deren Entsorgung, bis zur eventuell notwendigen Behandlung der nach der Entsorgung anfallenden Rest- oder Wertstoffe.
- Alle mit den genannten Prozessen verbundenen relevanten Stoff- und Energieflüsse von der Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen bis zu der Bereitstellung von Betriebsmitteln und, soweit als möglich, der Entsorgung von Reststoffen. Im Idealfall umfassen die Systemgrenzen die Gewinnung der Rohstoffe aus den natürlichen Lagerstätten und deren Bereitstellung für technische Prozesse und die Abgabe von Elementarflüssen an die Umweltmedien Wasser, Luft und Boden.

Die „Herstellung“ der zu Abfall gewordenen Produkte wird nicht innerhalb der Systemgrenzen berücksichtigt. Outputseitig wird die Systemgrenze für die untersuchten Verfahren dort gezogen, wo entweder Elementarflüsse wieder an die Umwelt abgegeben werden oder ein marktgängiger Zusatznutzen des Systems durch möglicherweise entstehende Stoffe oder frei werdende Energie zu berücksichtigen ist.

Die Bereitstellung und der Unterhalt der Infrastruktur (der Bau, die Wartung und Reparatur von Gebäuden, Maschinen, Industrieanlagen, Transportmitteln und Verkehrswegen) werden nicht berücksichtigt, da kein wesentlicher Einfluss zu erwarten ist.

Äquivalenzprozesse und Allokationen

Neben der Entsorgung der Abfälle resultieren aus den Entsorgungsverfahren zusätzliche Nutzen, wie z.B. Strom und Wärme aus der Hausmüllentsorgung oder Sekundärmetalle aus der stofflichen Verwertung. Als Folge müssen die entsprechenden Energiemengen beziehungsweise Produkte nicht auf konventionellem Weg aus Primärrohstoffen hergestellt werden (eine gleichbleibende Nachfrage wird unterstellt). Die Umweltauswirkungen, die mit der konventionellen Herstellung jedes einzelnen Zusatznutzens verbunden sind, werden somit „eingespart“ beziehungsweise „vermieden“. Um den Vergleich der

Entsorgungssysteme zu vervollständigen, werden diese „vermiedenen“ Umweltauswirkungen bilanziert und den Umweltauswirkungen des Entsorgungssystems gutgeschrieben⁶.

Die Berücksichtigung der Entlastungen aus den Äquivalenzsystemen ist in folgender Abbildung vereinfacht und anschaulich für die Kompostierung dargestellt:

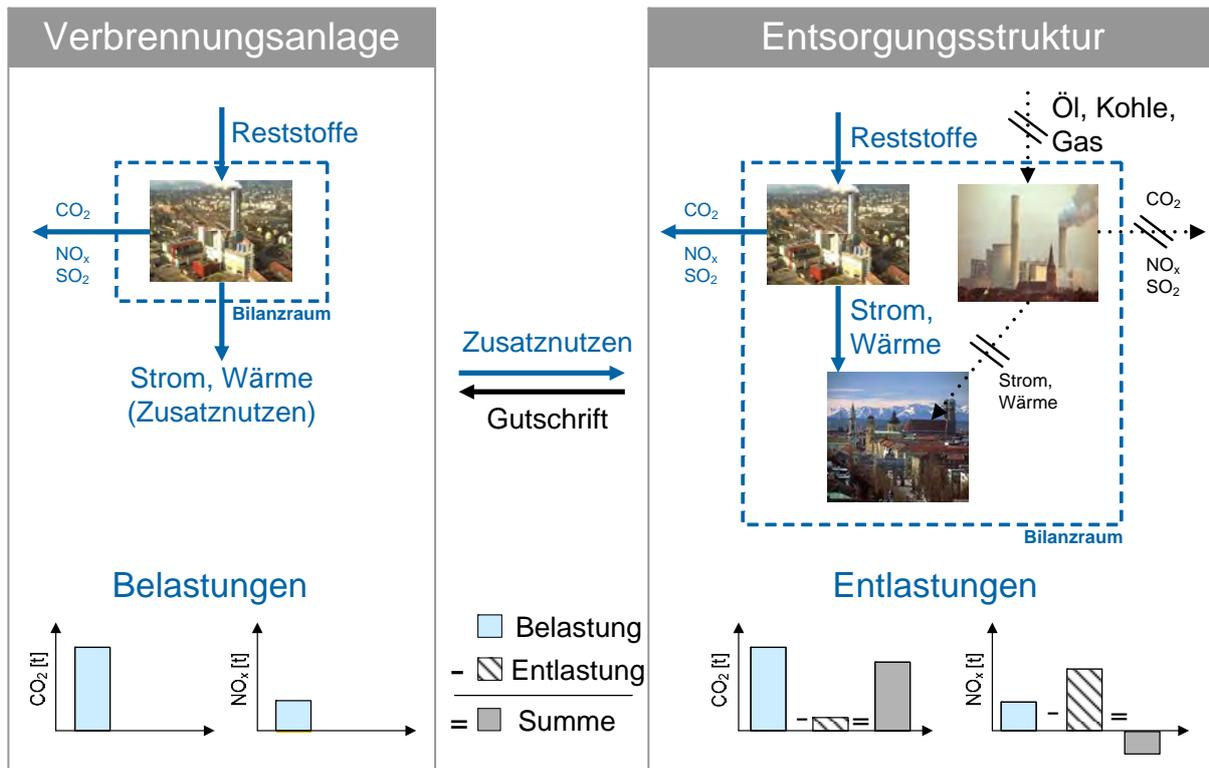


Abbildung 25: Berücksichtigung der Entlastungen aus den Äquivalenzsystemen bei der Bilanzierung der Umweltauswirkungen am Beispiel der thermischen Abfallbehandlung.

Der konventionelle Herstellungs- beziehungsweise Produktionsprozess eines Zusatznutzens wird als Äquivalenzprozess oder Äquivalenzsystem bezeichnet. Für jeden quantifizierbaren Zusatznutzen wird ein spezifisches Äquivalenzsystem modelliert, das den gleichen beziehungsweise einen vergleichbaren funktionsäquivalenten Nutzen erzeugt.

15.3 Quantifizierung Umweltwirkungen

Die Abschätzung der Umweltwirkungen erfolgt für die in der folgenden Tabelle dargestellten Wirkungskategorien.

⁶ Die mit der Bilanzierung der konventionellen Herstellung der Zusatznutzen erhaltenen Elementarflüsse (Gutschriften) werden von den Umweltauswirkungen des jeweiligen Entsorgungssystems (Bruttoergebnis) rechnerisch abgezogen, was zu einem Nettoergebnis führt. Damit können auch negative Nettoergebnisse auftreten.

Tabelle 12: Wirkungskategorien und Parameter.

Wirkungskategorie	Wirkung	Sachbilanzparameter	Bezugseinheit
Treibhauseffekt	Erwärmung der Erdatmosphäre	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	[kg CO ₂ -Äq.]
Versauerung	Emission säurebildender Substanzen	NH ₃ , NO _x , SO ₂	[kg SO ₂ -Äq.]
Terrestrische Eutrophierung	Nährstoffzufuhr in Böden im Übermaß	NH ₃ , NO _x	[kg PO ₄ -Äq.]
Photochemische Oxidantienbildung	Bildung von bodennahem Ozon (Sommersmog)	CH ₄ , NMVOC, VOC un spez.	[kg Ethen-Äq.]
Humantoxizität	Toxische Schädigung des Menschen	SO ₂	kg SO ₂
Ökotoxizität	Toxische Schädigung von Organismen und Ökosystemen	NO _x	kg NO _x
Ressourcenbeanspruchung	Verbrauch von Rohstoffen und Energie	Bauxit, Eisenerz, Erdöl, Steinkohle und Erdgas aus Lagerstätten	[kg Eisenerz-Äq.]

Als Indikator zur Beschreibung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung dient nicht der kumulierte Energieaufwand (KEA), sondern der im Rahmen dieser Untersuchung entwickelte Indikator Ressourcenverknappungspotenzial.

15.4 Aggregation Einzelergebnisse zum Ökologie-Index

Die Aggregation der Einzelergebnisse zum Gesamtergebnis Ökologie-Index erfolgt in drei Schritten:

1. Normierung: Die Einzelergebnisse werden auf die gemeinsame Bezugseinheit „Einwohnerwerte“ umgerechnet

2. Gewichtung: Die einzelnen Wirkungskategorien werden in Anlehnung an eine Empfehlung des UBA mit Hilfe folgender Kriterien anhand ihrer „ökologischen Priorität“ gewichtet:

Ökologische Gefährdung (Wie schwerwiegend sind potenzielle Schäden?)

Distance-to-Target (Abstand der derzeitigen Umweltsituation von der Zielsituation)

3. Zusammenführung: Die gewichteten Ergebnisse werden zum Ökologie-Index zusammengeführt.

15.4.1 Normierung: Berechnung der Einwohnerwerte

Ausgangspunkt für die Aggregation der einzelnen Wirkungsindikator-/Sachbilanzergebnisse sind die Einwohnerwerte (EW), die sich aus den jeweiligen Wirkungsindikator-/Sachbilanzergebnissen und den entsprechenden Gesamtemissionen in der Bundesrepublik errechnen. Positive Einwohnerwerte repräsentieren eine Umweltbelastung, während negative Einwohnerwerte Umweltentlastungen bedeuten.

Die im Rahmen der Normierung für jede Wirkungskategorie berechneten Einwohnerwerte erlauben einen größenordnungsbezogenen Vergleich der verschiedenen Wirkungsindikatorergebnisse. Je größer die Anzahl der Einwohnerwerte ist, desto bedeutender ist diese Wirkungskategorie für die ökologieorientierte Beurteilung der betrachteten Verfahren beziehungsweise Szenarien hinsichtlich ihres Beitrages zur Umweltbelastung. Den Einwohnerwert, als Parameter zur Bestimmung der Relevanz eines Wirkungsindikatorergebnisses erhält man über folgenden Ansatz:

$$\text{Einwohnerwert (EW)} = \frac{\text{Wirkungsindikatorergebnis}}{\text{Referenzwert}} \cdot \text{Einwohnerzahl BRD}$$

Die für die Normierung der Ergebnisse dieses Vorhabens verwendeten Referenzwerte sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 13: Grundlagen zur Ermittlung des spezifischen Beitrags – Gesamtemissionen und -verbräuche in Deutschland und mittlere Belastung durch einen Einwohner pro Jahr.

Wirkungsindikator	Referenzwert (Deutschland)	Belastung je Einwohner ⁷
Nicht aggregierte Werte		
Stickoxide (als NO ₂)	1.380.000 t/a	16,83 kg/a
Schwefeldioxid	498.000 t/a	6,07 kg/a
Aggregierte Werte		
Ressourcenverknappungspotenzial ¹⁾	422.165.122 t Eisenerz-Äq./a	5.148 t Eisenerz-Äq./a
Treibhauspotenzial	930.287.431 t CO ₂ -Äq./a	11,3 t CO ₂ -Äq./a
Versauerungspotenzial	2.771.501 t SO ₂ -Äq./a	33,8 kg SO ₂ -Äq./a
Eutrophierungspotenzial terrestrisch	435.403 t PO ₄ -Äq./a	5,3 kg PO ₄ -Äq./a
Photooxidantienbildung	1.291.900 t Ethen-Äq./a	15,75 kg Ethen-Äq./a

¹⁾ Der Referenzwert für das Ressourcenverknappungspotenzial errechnet sich aus dem Verbrauch in Deutschland [BGR 2007, BGR 2009] von Steinkohle, Erdgas, Erdöl, Bauxit, Eisenerz, Kupfererz und Phosphat

15.4.2 Gewichtung

Die folgende Tabelle zeigt die Beurteilung der einzelnen Kategorien nach den Kriterien „Ökologische Gefährdung“ und „Distance-to-Target“ durch das Umweltbundesamt.

- Ökologische Gefährdung: Welche Bedeutung ist den einzelnen Kriterien nach Stand der Wissenschaft wie auch der Sensibilität der Bevölkerung oder der Politik zuzumessen?
- Abstand zum Schutzziel („Distance-to-Target“): Wie weit entfernt ist die derzeitige Umweltsituation gegenüber den von umweltpolitischer Seite gesetzten Zielvorgaben (Umweltziele, Umweltqualitätsziele, Reduktionsziele u.ä.)?

Tabelle 14: Hierarchisierung von Wirkungskategorien nach „Ökologischer Gefährdung“ und „Distance-to-Target“ durch das Umweltbundesamt [UBA 1999].

Wirkungskategorie	Ökologische Gefährdung	Distance-to-Target
Treibhauseffekt	A	A
Naturraumbeanspruchung	A	B
Stratosphärischer Ozonabbau	A	D
Versauerung	B	B
Terrestrische Eutrophierung	B	B
Aquatische Eutrophierung	B	C
Ressourcenbeanspruchung	C	B
Photochemische Oxidantienbildung	D	B

⁷ Basis: 82.002.400 Einwohner nach Angabe des statistischen Bundesamtes zum Stand 31.12.2008.

Wirkungskategorie	Ökologische Gefährdung	Distance-to-Target
Humantoxizität (Auswertung anhand des Sachbilanzparameters SO ₂) ¹⁾	B	B
Öko-Toxizität (Auswertung anhand des Sachbilanzparameters NO _x) ¹⁾	B	B
A = höchste Priorität D = niedrigste Priorität		

¹⁾ Keine Vorgaben nach [UBA 1999]. Hierarchisierung deshalb nach [bifa 2003].

Im Rahmen dieses Vorhabens werden den Prioritäten der projektunabhängigen Kriterien ebenfalls feste Punktzahlen zugeordnet (vgl. Tabelle 15). Dies ermöglicht die anschließend durchzuführende Zusammenführung mit den normierten spezifischen Beiträgen.

Tabelle 15: Punktevergabe bei den projektunabhängigen Kriterien ökologische Gefährdung (ÖkG) und Distance-to-Target (DtT).

Priorität ÖkG beziehungsweise DtT	Punktzahl
A	10
B	8
C	6
D	4
E	2

15.4.3 Zusammenführung

Die Zusammenführung der vom bilanzierten System abhängigen Einwohnerwerte mit den beiden systemunabhängigen Kriterien „ökologische Gefährdung“ (ÖkG) und „Distance-to-Target“ (DtT) für jede Wirkungskategorie erfolgt durch die Multiplikation der ermittelten Einwohnerwerte mit der Summe der festgelegten Punktzahlen von ÖkG und DtT. Durch Summation aller so erhaltenen Teilsummen für jede betrachtete Wirkungskategorie beziehungsweise Sachbilanzparameter eines Verfahrens beziehungsweise Szenarios erhält man den Ökologie-Index.

Je höher der Ökologie-Index eines Szenarios, desto höher sind die mit diesem Szenario verbundenen Umweltwirkungen. Negative Ökologie-Indizes stehen für Umweltenlastungen.

15.5 Ökoeffizienzanalyse

Die Ökoeffizienzanalyse stellt für jedes der untersuchten Szenarien das Ergebnis der ökobilanziellen Betrachtung den mit der Entsorgung verbundenen spezifischen Kosten gegenüber.

bifa Umweltinstitut GmbH

Am Mittleren Moos 46

86167 Augsburg

Tel. +49 821 7000-0

Fax. +49 821 7000-100

www.bifa.de