TEXTE
08/2011

Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung

Teilvorhaben 1: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

| TEXTE | 08/2011

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3710 93 313 1
UBA-FB 001459

Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung

Teilvorhaben 1: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne

von

Agnes Bünemann
Gunda Rachut

cyclos GmbH, Osnabrück

Dr. Joachim Christiani
Dr. Michael Langen
Dr. Jörg Wolters

HTP GmbH, Aachen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
http://www.uba.de/uba-info-medien/4074.html
verfügbar. Hier finden Sie auch eine Kurzfassung.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: http://www.umweltbundesamt.de
http://fuer-mensch-und-umwelt.de/

Redaktion: Fachgebiet III 1.2 Produktverantwortung,
Vollzug ElektroG und BattG
Regina Kohlmeyer

Dessau-Roßlau, Februar 2011

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer	2.	3.
UBA – FB 001459	FB III: Nachhaltige Produktion und Produkte, Abfallwirtschaft	FG III 1.2: Produktverantwortung, Vollzug ElektroG, und BattG

4. Titel des Berichts

Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung, TV 01: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne

5. Autoren

Agnes Bünemann, Dr. Joachim Christiani, Dr. Michael Langen, Gunda Rachut, Dr. Jörg Wolters

6. Durchführende Institute

cyclos GmbH, Westerbreite 7,

49084 Osnabrück

in Zusammenarbeit mit

HTP GmbH

Maria-Theresia-Allee 35

52064 Aachen

7. Fördernde Institution

Umweltbundesamt,

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau

8. Abschlussdatum

24.01.2011

9. Veröffentlichungsdatum

Februar 2011

10. UFOPLAN-Nr.

FKZ 3710 93 313 1

11. Seitenzahl

191

12. Literaturangaben

38

13. Tabellen und Diagramme

30

14. Abbildungen

23

15. Zusätzliche Angaben

11 Anlagen

16. Zusammenfassung

Der Koalitionsvertrag der Regierungsparteien sieht vor, die Verpackungsverordnung zu einer „Wertstoffverordnung“ fortzuentwickeln. Zentrales Element ist das Konzept einer so genannten „trockenen Wertstofftonne“, in der Verpackungswertstoffe und Nichtverpackungs-Wertstoffe mit dem Ziel einer effizienten Verwertung gemeinsam erfasst werden sollen.

Ziel der Untersuchung war es, eine Empfehlung für die „Idealzusammensetzung“ einer „trockenen Wertstofftonne“ zu erarbeiten und die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft abzuschätzen.

In Zusammenarbeit mit der HTP GmbH hat cyclos zunächst den Status Quo der Erfassung, Sortierung und Verwertung von Leichtverpackungen im Rahmen des Dualen Systems sowie die bereits vorhandenen Modellprojekte untersucht, in denen neben Leichtverpackungen auch weitere Nichtverpackungs-Wertstoffe in einer Wertstofftonne erfasst werden.

Im Jahr 2009 wurden in Deutschland über das Duale System im Rahmen der Sammlung von Leichtverpackungen ca. 27,7 kg/E*a erfasst. Der Leichtverpackungsanteil lag dabei bei ca. 18,1 kg/E*a bzw. 65 % der Sammelmenge. Weitere 3,42 kg/E*a stoffgleiche Nichtverpackungen und ca. 0,21 kg/E*a nicht stoffgleiche Nichtverpackungen werden bereits heute mit den Leichtverpackungen miterfasst.

Die Umstellung auf eine Wertstofftonne hat in allen Modellprojekten einen signifikanten Anstieg der Erfassungsmenge bewirkt. Für eine weitere stoffspezifische Öffnung des Erfassungssystems, in dem heute nur Leichtstoffverpackungen erfasst werden, sprechen die hohe Akzeptanz der Nutzer und die Steigerung der Verwertungsmengen durch eine höhere Selektivität.

Anhand einer umfassenden Analyse, Diskussion und Bewertung einzelner Materialgruppen und ausgewählter Szenarien unter abfallwirtschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Kriterien wurden Empfehlungen zur Idealkonfiguration einer Wertstofftonne abgeleitet.

Empfohlen wird die flächendeckende, einheitliche Erweiterung des Zuweisungskataloges um stoffgleichen Nichtverpackungen (StNVP) aus Metallen und Kunststoffen. Hierzu sind nur minimale Eingriffe in den Bestand der gewachsenen Verwertungsinfrastruktur erforderlich. Daher ist die Erweiterung der LVP-Erfassung um StNVP kurzfristig möglich. Erwartet wird hierdurch ein Anstieg der Menge um ca. 7 kg/E*a (davon 5,1 kg/E*a LVP + StNVP) entsprechend ca. 570.000 t/a. bundesweit. Um eine hochwertige Verwertung der StNVP sicherzustellen, bedarf es der Formulierung quantitativer Vorgaben.

Nicht empfohlen wird die Miterfassung von Holz, Gummi, Textilien und Batterien. Eine Miterfassung dieser Materialien ist weder ökologisch noch ökonomisch vorteilhaft.

Noch nicht eindeutig ist die Bewertung der Miterfassung von Elektrokleingeräten zu leisten. Über die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen sowie die Auswirkungen auf das Erfassungssystem der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger gibt es bislang keine hinreichenden Erkenntnisse. Über intensive Begleitung der Umsetzung in ausgewählten Gebieten sollte untersucht werden, ob die Prämissen für eine Einbeziehung von Elektrokleingeräten zu einem späteren Zeitpunkt gegeben sind. Sollte dieses der Fall sein, könnte zu einem späteren Zeitpunkt der Zuweisungskatalog für die Wertstofftonne um Elektrokleingeräte erweitert werden. Allerdings ist vom Grundsatz her die Monoerfassung von Elektrokleingeräten besser als eine Miterfassung in einer gemischten Wertstofftonne.

Ferner wird angeregt, dann die Anforderungen an die Kunststoffverwertung zu erweitern und differenzierter zu spezifizieren, wenn weitere Erkenntnisse gewonnen werden konnten.

17. Schlagwörter

Wertstofftonne, Leichtverpackungen, stoffgleiche Nichtverpackungen, Elektrokleingeräte, Sortieranlagen, Verwertungsanlagen

18. Preis	19.	20.
-	-	-

Report Cover Sheet

1. Reporting No.	2.	3.
UBA-FB 001459	Division III: Sustainable Production and Products, Waste Management	Section III 1.2, Product Responsibility, Implementation of the Electrical and Electronic Equipment Act and the Batteries Act

4. Report Title

Variants of an amendment to the German Packaging Ordinance –

part 1: optimised allocation of waste items to a “dry recyclables bin”

5. Authors	8. Report Date
Agnes Bünemann, Dr. Joachim Christiani, Dr. Michael Langen, Gunda Rachut, Dr. Jörg Wolters	24 January 2011
6. Performing Organisation	**9. Publication Date**
	February 2011
cyclos GmbH, Westerbreite 7, D-49084 Osnabrück Germany	**10. UFOPLAN-Ref. No.** FKZ 3710 93 313 1
	11. No. of Pages 191
in cooperation with	**12. No. of Reference** 38
HTP GmbH Maria-Theresia-Allee 35 D 52064 Aachen Germany	**13. No. of Tables, Diagrams** 30
	14. No. of Figures 23
7. Funding Agency Federal Environment Agency (Umweltbundesamt - UBA), Wörlitzer Platz 1 D 06844 Dessau Roßlau-Germany	

15. Supplementary Notes

11 appendixes

16. Abstract

The coalition agreement of the ruling parties contains a concept for developing the packaging ordinance into a resource-ordinance. The main element in the concept is a “dry recyclables bin“, in which packaging material as well as non-packaging material is collected. The goal is to recycle both types of resource material in an efficient way.

The examination aims to find an “ideal” set of content for a “dry recyclables bin”, together with an evaluation of the economic and ecological impact on the waste industry.

In cooperation with HTP GmbH, cyclos GmbH ascertained the status quo on the collection, sorting and recycling of packaging material within the Dual System. Furthermore the actual pilot projects were

reviewed.

In 2009, 27.7 kg per capita and year were collected through the Dual System. The contingent of lightweight packaging was ca 18.1 kg per capita and year which is 65 % of the assemblage. Another 3.42 kg per capita and year equivalent non packaging material and about 0.21 kg per capita and year of non equivalent non packaging material is already collected today together with the lightweight-packaging materials.

All pilot projects have shown that the change to a recycling bin provokes a significant increase of the collected amount. There are some considerable advantages of the collection in one single recyclables bin. The user acceptance is very high, and the amount of recyclable materials increases due to a higher selectivity.

Based on a broad analysis, followed by discussion and assessment of individual material groups and selected scenarios and in consideration of waste related, environmental and economic criteria,, an ideal configuration for a recyclables bin was derived.

It is recommended to enclose the equivalent non-packaging materials made out of metal or plastic material (StNVP) in the allocation catalogue.

The impact on the grown recycling infrastructure is minimal. Hence the extension of the collection of packaging material by these equivalent non packaging materials can be accomplished on short notice.

An increase of the collected amount of ca 7 kg per capita and year, accordingly 570 000 t/a is expected nationwide.

To secure a high standard of recycling of the non-packaging materials, it is necessary to establish quantitative specifications.

It is not recommended to enclose the collection of wood, rubber, textiles or batteries in the “dry recyclables bin”. A collection of these materials is detrimental for ecological and economic reasons.

In respect of the collection of small electronic devices, a plain evaluation could not yet be accomplished. The mono collection of this material group is to be preferred. A collection together with the other material groups in one single recyclables bin can only be preferred if the disadvantages due to sorting losses and a higher complexity of the sorting process can be overcompensated by a significantly higher collection outcome.

The implementation in selected districts should be intensively supervised to ascertain if these preconditions for a collection of small electronic devices can be fulfilled. Only in this case, the allocation catalogue should enclose small electronic devices as well.

Furthermore it is encouraged, that the requirements for plastic recycling should be specified in a more differenciated way, if further findings can be achieved.

17. Keywords

Recycling bin, lightweight-packaging, equivalent nonpackaging materials made out of metal or plastic material, small electronic devices, sorting plant, recycling plant.

18. Price	**19.**	**20.**

Inhalt

Tabellenverzeichnis **8**

Abbildungsverzeichnis **10**

Abkürzungsverzeichnis **12**

Kurzfassung **14**

1. Veranlassung und Aufgabenstellung **21**

2. Definitionen **23**

3. Stand der Erkenntnisse zur Wertstofftonne **26**

3.1 Projekte und Status [Stand: Dezember 2010] 26

3.2 Ergebnisse aus den bislang durchgeführten Modellvorhaben 29

3.2.1 Allgemeine Beschreibung der Erweiterung 29

3.2.2 Auswirkungen der Systemumstellung auf die Zusammensetzung des Sammelgemisches 31

3.2.3 Technische Modifizierung der Sortierung 36

4. Grundlagen der Diskussion und Bewertung **38**

4.1 Stand der Technik der LVP-Sortierung und dessen betriebliche Umsetzung 38

4.1.1 Verfahrensbeschreibung 38

4.1.2 Technisch-ökonomische Zusammenhänge 43

4.2 Anforderungen im Rahmen der Verwertung von Sortierprodukten der LVP-Sortierung 48

4.3 Abgrenzung und Beispiele von StNVP und NStNVP 52

4.4 Wertstoffpotenziale in Restabfall und LVP-Erfassungsmenge sowie Beschreibung des Referenzmodells M_0 54

4.4.1 Wertstoffpotenziale in der LVP-Erfassungsmenge 54

4.4.2 Wertstoffpotenziale im Restabfall 56

4.4.3 Grundlagen des Referenzmodells 60

4.5 Abschöpfbare Mengen bei Einführung einer Wertstofftonne 61

5. Spezifische Aspekte einer potentiellen Zuweisung einzelner Wertstoffgruppen zur Wertstofftonne 70

5.1 StNVP aus FE-Metallen 72

5.2 StNVP aus NE-Metallen 76

5.3 StNVP aus Kunststoff, Untergruppe Folien 81

5.4 StNVP aus Kunststoff, Untergruppe Verpackungsstandardpolymere 87

5.5 StNVP aus Kunststoff, Untergruppe sonstige Kunststoffe 92

5.6 NStNVP aus Holz 98

5.7 NStNVP aus Textilien 105

5.8 NStNVP aus Gummi 107

5.9 Elektrokleingeräte 111

5.10 Batterien 126

5.11 Zusammenfassende Bewertung 130

6. Szenarienbetrachtung ausgewählter Modelle einer Wertstofftonne 139

6.1 Mengenbetrachtung 141

6.1.1 Erfassungsmengen und Qualitäten 141

6.1.2 Bedarf an zusätzlichen Sortierkapazitäten 143

6.1.3 Bilanzen der Sortierung 143

6.2 Ökonomische Szenarienbetrachtung 145

6.2.1 Anpassungsbedarf der Logistik und Erfassungskosten 145

6.2.2 Sortierkosten 148

6.2.3 Verwertungserlöse / Verwertungskosten 150

6.2.4 Kosten für Restabfallentsorgung 151

6.2.5 Gesamtkostenvergleich 152

6.3 Auswirkungen auf Restmüllaufkommen und – heizwert 153

6.4 Ökologischer Vergleich der Modelle einer Wertstofftonne 155

6.5 Ergebnis der Modellbewertung 157

7. Empfehlungen zur Konfiguration einer „idealen Wertstofftonne“ und deren Umsetzung 160

8. Literaturverzeichnis 165

9. Anlagen 170

Anlage 1: Übersicht über NVP-Stoffgruppen mit Zuordnung zu Verpackungsmaterialgruppen nach Branchen-, Sortiments- und Produktgruppen 171

Anlage 2: Überschlägige Kostenrechnung für die Vorsortierung auf Umschlagplätzen bei einer “Sack in Behälter-Lösung“ 179

Anlage 3: Abschätzung der Outputmengen aus der Sortierung für M1 und M2 180

Anlage 4: Beispielhafte Berechnungen der Erfassungskostenänderung (Restmüll und Wertstoffe) bei Umstellung auf M1 181

Anlage 5: Beispielhafte Berechnungen der Erfassungskostenänderung (Restmüll und Wertstoffe) bei Umstellung auf M2 182

Anlage 6: Modellhafte Betriebskostenschätzung Kapazität 40.000 t/a, ohne Elektrokleingeräte; standortunabhängige Planung 183

Anlage 7: Modellhafte Betriebskostenschätzung Kapazität 60.000 t/a, ohne Elektrokleingeräte; standortunabhängige Planung 184

Anlage 8: Modellhafte Betriebskostenschätzung Kapazität 40.000 t/a, mit Elektrokleingeräte; standortunabhängige Planung 185

Anlage 9: Modellhafte Betriebskostenschätzung Kapazität 60.000 t/a, mit Elektrokleingeräte; standortunabhängige Planung 186

Anlage 10: Ermittlung der Verwertungserlöse/-zuzahlungen für die Outputströme der Sortierung für M1 (oben) und M2 (unten) 187

Anlage 11: Ermittlung der spezifischen Heizwerte der Transfermengen für M1 und M2 188

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Übersicht über die Regionen mit Modellvorhaben zur „Wertstofftonne“ oder Sondersammelsystemen	26
Tabelle 3.2	Zuweisungskataloge zu umgesetzten Modellvorhaben/Wertstofftonne/ -sack	30
Tabelle 3.3	Ergebnisse einer Systemumstellung auf die Wertstofftonne (ATUS 2009)	32
Tabelle 3.4	Mengenaufkommen und Zusammensetzung der Wertstofftonne sowie Mengenzunahme durch Systemumstellung in den Pilotgebieten Berlin und Leipzig	34
Tabelle 4.1	Technische Ausstattung, Verarbeitungskapazität und aktuelle Verarbeitungsmenge der LVP-Sortieranlagen	45
Tabelle 4.2	Produktspezifikationen für Sortierprodukte aus LVP-Sammelmengen und wesentliche Ausschlüsse	51
Tabelle 4.3	Systemkompatibilität von StNVP anhand von Artikel- und Artikelgruppenbeispielen	53
Tabelle 4.4	Aufkommen und Zusammensetzung LVP im Referenzszenario (HTP 2010)	55
Tabelle 4.5	Daten zur Restmüllzusammensetzung	57
Tabelle 4.6	Relative Anteile von Verpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen bezogen auf die im Restmüll enthaltenen Wertstoffanteile für die Stoffgruppen Metalle und Kunststoffe	58
Tabelle 4.7	Grundlage des Referenzmodells M_0 aus Restabfalltonne und LVP-Tonne mit Darstellung des Wertstoffpotenzials aus Restabfall und getrennt erfassten LVP-Mengen	60
Tabelle 4.8	Abschätzung der Erfassungsquote für den Leitparameter „Flüssigkeitskartons“	63
Tabelle 4.9	Abschätzung spezifischer abschöpfbarer Wertstoffmengen bezogen auf das Potenzial	65
Tabelle 4.10	Übersicht über erwartete Zusatzmengen gegenüber Status quo	67
Tabelle 4.11	Vergleich der berechneten abschöpfbaren Menge mit Ergebnissen aus der Wertstofftonne (PPK + LVP + StNVP + Holz) im Landkreis Karlsruhe	68
Tabelle 4.12	Vergleich der berechneten abschöpfbaren Menge mit Ergebnissen aus Kassel (trockene Hausmülltonne)	69

Tabelle 4.13	Vergleich der berechneten abschöpfbaren Menge mit Ergebnissen aus Hamburg (LVP + StNVP + Holz + Elektrokleingeräte)	69
Tabelle 5.1	Übersicht über Kriterien zur Bewertung der Miterfassung bestimmter Materialien in einer einheitlichen Wertstofftonne	71
Tabelle 5.2	Übersicht über Gerätearten, Kategorien und Sammelgruppen von Elektroaltgeräten nach ElektroG	112
Tabelle 5.3	Meldung der Bundesregierung über die im Jahr 2008 in Verkehr gebrachte Menge an Elektroaltgeräten und die nach ElektroG gesammelte Menge an Elektroaltgeräten	114
Tabelle 5.4	Zusammensetzung Sammelgruppe 3	115
Tabelle 5.5	Zusammensetzung Sammelgruppe 5	115
Tabelle 5.6	Übersicht über die innere Verteilung der Elektroaltgeräte in der Gelben Tonne Plus in Berlin und Leipzig im Jahr 2006	116
Tabelle 5.7	Matrix mit wertstoffspezifischen Bewertungskriterien	131
Tabelle 6.1	Wertstofferfassungsmengen in den Szenarien M0, M1 und M2	142
Tabelle 6.2	Outputströme der Sortierung für die Szenarien M0, M1 und M2	144
Tabelle 6.3	Spezifische Kosten der Sortierung	149
Tabelle 6.4	Abschätzung von Verwertungserlösen/Verwertungskosten	150
Tabelle 6.5	Bewertung ausgewählter Modelle einer Wertstofftonne	158
Tabelle 7.1	Matrix mit wertstoffspezifischen und szenarischen Bewertungskriterien	161

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1	Vergleich der spezifischen Erfassungsquoten vor und nach Systemumstellung am Beispiel Gelbe Tonne+ in Leipzig	35
Abbildung 4.1	Schematische Darstellung einer LVP-Sortierung nach dem Stand der Technik	39
Abbildung 4.2	Sortierkosten in Abhängigkeit der Anlagenkapazität [Christiani 2010]	44
Abbildung 4.3	Abschätzung der spezifischen Herstellungskosten für eine zusätzliche Wertstoffsorte im Rahmen der LVP-Sortierung in Abhängigkeit des Anteils des Eingangsmaterials und der Baugröße der Sortieranlage	47
Abbildung 4.4	Entwicklung der LVP-Sammelmenge in Deutschland von 1999 bis 2009	62
Abbildung 5.1	Messwerte zu Ausbringensraten von Weißblech und StNVP (Eisenschrott) aus vier deutschen LVP-Sortieranlagen	74
Abbildung 5.2	Entwicklung der Marktpreise für Stahlschrott, Sorte 1	75
Abbildung 5.3	Bilanzergebnisse zum Ausbringen einzelner NE-Metalle in der LVP-Sortierung für unterschiedliche Bilanzräume	79
Abbildung 5.4	Entwicklung der Marktpreise für Aluminium-Gussschrott	80
Abbildung 5.5	Marktpreise für bunte LDPE-Folien	84
Abbildung 5.6	Ressourcenbeanspruchung (Knappheit fossiler Energieträger) und Treibhauseffekt für Folien / Wertstofferfassung versus Zuweisung zum Restabfall	86
Abbildung 5.7	Marktpreise für PE-Flaschen (post consumer)	90
Abbildung 5.8	Ressourcenbeanspruchung und Treibhauseffekt für Standardverpackungspolymere/Wertstofferfassung versus Restabfallentsorgung in MVA (HTP/IFEU 2000)	91
Abbildung 5.9	Ressourcenbeanspruchung (Knappheit fossiler Energieträger) und Treibhauseffekt für sonstige Kunststoffe /Wertstofferfassung versus Restabfallentsorgung (MVA) (HTP/IFEU 2000)	97
Abbildung 5.10	Ressourcenbeanspruchung (Knappheit fossiler Energieträger) und Treibhauseffekt für Kleinfolien /Wertstofferfassung versus Restabfallentsorgung (MVA) (HTP/IFEU 2000)	97
Abbildung 5.11	Zusätzliche Sortierkosten für die automatische Holzsortierung	102
Abbildung 5.12	Zusätzliche Sortierkosten für die manuelle Holzsortierung	102
Abbildung 5.13	Marktpreise für Altholz	104

Abbildung 5.14	Verteilung von Elektrokleingeräten auf die Teilströme einer LVP-Sortierung in vier Anlagen, angegeben sind die Minimal- und die Maximalwerte	118
Abbildung 6.1	Veränderungen der Erfassungskosten für das Szenario M1 im Vergleich zu M0 (Fallbeispiele)	146
Abbildung 6.2	Kostenveränderungen bei Umstellung auf die Wertstofftonne für die Modelle M1 und M2	152
Abbildung 6.3	Auswirkungen der Wertstofftonnenmodelle auf den Heizwert des Restabfalls	154
Abbildung 6.4	Mittlere Abfallinput-Zusammensetzung der MVA in Deutschland 2007	155

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
AlMn	Alkali-Mangan
ear	stiftung elektro-altgeräte register
EBS	Ersatzbrennstoff
FE-Metalle	Eisenhaltige Metalle
FKN	Flüssigkeitskarton
HDPE	Polyethylen hoher Dichte
Li	Lithium
LDPE	Polyethylen geringer Dichte
LVP	Leichtverpackungen
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
MGB	Müllgroßbehälter
MKS	Mischkunststoff
MVA	Müllverbrennungsanlage
NE-Metalle	Nichteisenmetalle
NiMH	Nickel-Metallhydrid
NStNVP	Nichtstoffgleiche Nichtverpackungen (weitere Erläuterungen siehe Definitionen)
NVP	Nichtverpackungen
örE	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
PA	Polyamide
PB	Blei
PC	Polycarbonat
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PMMA	Plexiglas, Acrylglas – Polymethylmethacrylat
PP	Polypropylen
PPK	Papier, Pappe, Kartonagen
PS	Polystyrol

Abkürzung	**Erläuterung**
PUR	Polyurethane
PVC	Polyvinylchlorid
SAN	Styrol-Acrylnitril
StNVP	Stoffgleiche Nichtverpackungen (weitere Erläuterungen siehe Definitionen)
VerpackV	Verpackungsverordnung
VP	Verpackungen
Zn	Zink
ZnC	Zink-Kohle

Kurzfassung

Die Verpackungsentsorgung wird in Deutschland nach dem Prinzip der abfallrechtlichen Produktverantwortung durch die von Herstellern und Vertreibern finanzierten dualen Systeme durchgeführt. In sogenannten Gelben Säcken und Tonnen werden bundesweit flächendeckend Verpackungen aus Kunststoff, Metall und Verbundmaterial getrennt vom Hausmüll gesammelt und einer vorwiegend stofflichen Verwertung zugeführt. Der in den Haushalten erfasste Restabfall enthält jedoch noch immer Wertstoffe (Verpackungen und Nicht-Verpackungen, z. B. Verbunde, Fe-/NE-Metalle, Papier/Pappe/Kartonage (PPK), Glas, Kunststoffe).

Im Zuge der Bemühungen um eine Optimierung der Verwertung von Wertstoffen aus Hausmüll wurden bereits 2004/2005 Modellvorhaben umgesetzt, um die Getrennterfassung der dualen Systeme auf Nicht-Verpackungswertstoffe auszudehnen. Aus abfallwirtschaftlicher und ökologischer Sicht positive Ergebnisse führten dazu, dass der Verordnungsgeber in der 5. Novelle der VerpackV erstmals eine Möglichkeit der Systemöffnung auf Nichtverpackungen verankerte.

Im Rahmen der Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird das Konzept einer sogenannten „trockenen Wertstofftonne“ diskutiert, in der Verpackungswertstoffe und Nicht-Verpackungs-Wertstoffe mit dem Ziel einer effizienten Verwertung gemeinsam erfasst werden sollen.

Um zusammen mit weiteren Forschungsvorhaben Vorschläge für konzeptionelle Änderungen der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen zu erarbeiten und zur Vorbereitung des Planspiels zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung wurde im vorliegenden Vorhaben ein Vorschlag zur „Idealzusammensetzung“ einer „trockenen Wertstofftonne“ erarbeitet.

Vorgehensweise

Im ersten Schritt wurden die Grundlagen der Wertstofferfassung systematisch aufgearbeitet und dargestellt. Dazu gehören die Ergebnisse aus den bislang durchgeführten Modellvorhaben und insbesondere auch die Auswirkung auf das Sammelgemisch bei einer Systemumstellung. Des Weiteren wurden der Stand der Technik bei der LVP-

Sortierung, die Anforderungen aus der Verwertung, die Abgrenzung von StNVP und NStNVP dargestellt.

Als Grundlage der Bewertung wurden zunächst die Wertstoffpotenziale in Restabfall und LVP-Erfassungsmenge ermittelt und das Mengengerüst zum Status quo der LVP-Erfassung (Referenzmodell) erarbeitet. Darauf aufbauend wurden die abschöpfbaren Mengen bei Einführung einer Wertstofftonne berechnet.

Die Bewertung der potentiellen Zuweisung einzelner Wertstoffgruppen zur Wertstofftonne erfolgte in zwei Schritten:

- Im ersten Schritt der Bewertung wurden die Kriterien bearbeitet, die auf der Ebene einzelner Wertstoffe spezifisch zu diskutieren sind (Potential, Selektivität der und Akzeptanz zur Getrennthaltung, Konkurrenz zu bestehenden Erfassungsangeboten, Sortier- und Verwertbarkeit sowie Kosten).
- Im zweiten Schritt wurden ausgewählte Modelle betrachtet, um die Kriterien zu berücksichtigen, die sich nur auf Szenarienebene abbilden und erörtern lassen (z. B. Auswirkungen auf Restabfallzusammensetzung, Sammellogistik und Erfassungskosten, Gesamtkosten.). Dies beinhaltete eine vergleichende Bewertung zum Status quo.

Die Auswertung verschiedenster Studien sowie die Berechnung der abschöpfbaren Mengen erfolgten über differenzierte Rechenschritte. Diese Berechnung erfolgte für alle zu betrachtenden Stoffgruppen.

Prämisse zur Bewertung

Allen Betrachtungen liegt entsprechend der Aufgabenstellung die Prämisse der Einheitlichkeit des modifizierten Wertstofferfassungssystems zugrunde. Bezüglich der quantitativen Auswirkungen einer Umstellung auf die Wertstofftonne wurde dies im engeren Sinne unterstellt (d. h. einheitliche Erfassung über Tonnensystem), da insbesondere die Erfassungsvariante über Säcke an physikalische Grenzen stößt.

Weitaus wesentlicher ist aber der Aspekt, dass die bundesweite Einheitlichkeit in Bezug auf die Zuordnung von Materialgruppen vorausgesetzt wurde. Zum einen setzen die Abläufe, die sich durch die Wettbewerbssituationen zwischen den dualen Systemen ab der Schnittstelle der Erfassung herausgebildet haben, eine Standardisierung des Wertstoffgemisches voraus. Ganz unabhängig von diesen Zwängen sind zum anderen leistungsfähige abfallwirtschaftliche Strukturen nach industriellen Maßstäben und deren Weiterentwicklung an die Bündelungsmöglichkeiten von Rohstoffen mit gleichen Verarbeitungserfordernissen gekoppelt, was für eine zumindest großräumige Vereinheitlichung spricht.

Empfehlung für die Zuordnung von Materialgruppen zur Wertstofftonne

Aus den Modellvergleichen ist insbesondere zu schließen, dass durch die stoffspezifische Erweiterung des Erfassungskataloges - gegenüber dem Status quo einer Beschränkung auf Verkaufsverpackungen - unabhängig von der Detailausgestaltung innerhalb der untersuchten Systemgrenzen sowohl ökologische als auch im Mittel ökonomische Vorteile zu generieren sind.

StNVP: Für einige Materialgruppen lässt sich eine abschließende Empfehlung für eine Zuordnung zur Wertstofftonne ohne eine Gewichtung einzelner Bewertungskriterien formulieren, da generell positive Bewertungen vorgenommen wurden. Dies betrifft StNVP aus den unterschiedlichen Metallen sowie aus Kunststoffen mit Ausnahme von PVC. Da PVC aber mangels Differenzierungsmöglichkeit durch den Nutzer nicht einzeln zur Disposition gestellt werden kann, und im Übrigen eine Miterfassung gegenüber dem Status Quo unter ökologischen Aspekten in jeden Fall keine Verschlechterung verursacht, bezieht sich das positive Votum auf alle NVP-Kunststoffe.

Die durchgängige Zuweisung der StNVP zur Wertstofftonne erscheint auch schon aus dem Grund geboten, dass ein partieller Vollzug durch den Nutzer bereits heute praktische Gegebenheit ist. Hohe Akzeptanz

und synergetische Effekte, die über die Sammlung bis in die Verwertung erzielt werden können, sprechen für die Neuorientierung der Wertstofferfassung nach stoffspezifischen Kriterien.

Textilien, Batterien: Eindeutig fällt auch die Bewertung für die Materialgruppen Textilien und Batterien aus. Für beide gilt, dass bestehende funktionierende Parallelsysteme gefährdet würden, ohne dass über die Wertstofftonne adäquate Verwertungsoptionen erschlossen werden können. In einem zentralen Bewertungskriterium „ökologische Vorteilhaftigkeit“ fällt die Beurteilung auch entsprechend negativ aus. Von einer Erfassung dieser Materialfraktionen über die Wertstofftonne wird abgeraten.

Gummi: Für Gummi lässt sich aus keinem Bewertungskriterium ein positives Argument für eine Erfassung über die Wertstofftonne ableiten. Daher wird von der Erfassung von Gummi in der Wertstofftonne ebenfalls abgeraten.

Holz: Für die Materialgruppe Holz ist eine Kosten-Nutzen-Abwägung zu treffen. Da ein signifikanter ökologischer Nutzen durch eine Erfassung über die Wertstofftonne nicht angenommen werden kann, reduziert sich die Abwägung auf den wirtschaftlichen Aspekt: Unter den Randbedingungen, die über ein Wertstofftonnengemisch gegeben sind, sind insbesondere die zusätzliche Kosten für die Sortierung bei weitem nicht über Erlöse zu kompensieren. Von einer Berücksichtigung in der Wertstofftonne wird vor diesem Hintergrund abgeraten.

Elektrokleingeräte: Auf der Basis der bisher vorhandenen Erkenntnisse konnte keine eindeutige Bewertung der Miterfassung von Elektrokleingeräten geleistet werden. Vom Grundsatz her ist für diese Materialgruppe die Monoerfassung einer gemischten Erfassung vorzuziehen. Die eventuelle Vorteilhaftigkeit einer Sammlung über die Wertstofftonne ist an die

Prämisse gebunden, dass Nachteile dieser Erfassungsvariante, die insbesondere in Sortierverlusten und erhöhtem Aufwand in der Sortierung zu sehen sind, durch einen signifikant höheren Erfassungserfolg überkompensiert werden können. Die aktuell verfügbaren Daten lassen in dieser entscheidenden Frage allerdings keine belastbare Aussage zu. Die Pilotvorhaben zur Wertstofftonne, deren Untersuchungsschwerpunkte vor bzw. kurz nach Inkrafttreten des ElektroG liegen, geben über die Konkurrenzsituation zum Erfassungsangebot der örE nach § 9 ElektroG keinen Aufschluss. Die Abschätzung möglicher Wanderungsmengen in eine Wertstofftonne sowie der aktuellen Akzeptanz der Monoerfassung ist wegen der zeitlichen Kluft zwischen einzelnen Erhebungen und unterschiedlicher Abgrenzungssystematik nicht ausreichend sicher zu leisten.

Eine mögliche Zuordnung sollte nur dann erfolgen, wenn der Nachweis eines ausreichenden Erfassungserfolges für Elektrokleingeräte über (ggfs. zu optimierende) Mono-Erfassungsstrukturen nach ElektroG nicht erbracht werden kann. Die zurzeit anlaufenden neuen Pilotvorhaben einer Wertstofftonne unter Einbeziehung von Elektrokleingeräten sollten parallel genutzt werden, die Bedeutung von Substitutionseffekten zu klären und die Grundlagen einer bilanziellen Bewertung differenziert zu untersuchen.

Die zusammenfassende eindeutige Empfehlung für eine „Idealzusammensetzung“ der Wertstofftonne ist also eine Systemerweiterung um NVP-Kunststoffe, NVP-Fe-Metalle und NVP-NE-Metalle. Die Zuweisung von StNVP zur Wertstofftonne lässt einen Zuwachs der getrennt erfassten Menge von ca. 7 kg/E*a (davon 5,1 kg/E*a LVP + StNVP) entsprechend ca. 570.000 t/a erwarten.

Tabelle: Übersicht über die Zusammensetzung der Sammelmengen im Status Quo im Vergleich zu einer erwarteten Zusammensetzung nach Erweiterung des Zuweisungskataloges um die StNVP

Stoffgruppe		Referenzmodell (Status Quo / LVP-Sammlung)	Erwartete Menge nach Miterfassung von StNVP
Weißblech	VP	3,1 kg/E*a	3,5 kg/E*a
	StNVP	0,3 kg/E*a	1,3 kg/E*a
Aluminium	VP	1,0 kg/E*a	1,1 kg/E*a
	StNVP	0,3 kg/E*a	0,6 kg/E*a
Folien > DIN A4	VP	1,1 kg/E*a	1,2 kg/E*a
	StNVP	1,1 kg/E*a	1,5 kg/E*a
Standardverpa-ckungspolymere	VP	6,0 kg/E*a	6,2 kg/E*a
	StNVP	0,7 kg/E*a	1,2 kg/E*a
Sonst. Kunststoffe	VP	3,9 kg/E*a	4,3 kg/E*a
	StNVP	1,0 kg/E*a	2,5 kg/E*a
FKN	VP	2,1 kg/E*a	2,2 kg/E*a
PPK/PPK-Verbunde	VP	0,9 kg/E*a	0,9 kg/E*a
Holz	VP/NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a
Textilien	NStNVP	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a
Gummi	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a
Elektrokleingeräte	NStNVP	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a
Batterien	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a
PPK und Rest		6,1 kg/E*a	8,0 kg/E*a
Summe*		**27,7 kg/E*a**	**34,7 kg/E*a**
Zusatzmenge gegenüber Status Quo:			**7 kg/E*a**
davon Wertstoffe:			**5,1 kg/E*a**

* Geringe Abweichungen sind durch Rundungen bedingt.

Weiterhin könnten bei entsprechender Zuweisung ca. 1,1 kg/E*a Elektrokleingeräte aus dem Restabfall in die Wertstofftonne überführt werden, wobei es sich hierbei nur um eine grobe Mengenabschätzung handelt und mögliche Einflüsse auf die Sammelsysteme der örE nicht prognostizierbar sind.

Weitergehende Erkenntnisse und Empfehlungen

Es wird die Erfordernis gesehen, quantitative Zielvorgaben auch für die Nichtverpackungen zu formulieren.

Auch wenn die Wertstofftonne auf StNVP begrenzt wird, ist nur ausnahmsweise (z. B. für Kunststofffolien) davon auszugehen, dass die über die VerpackV bestehenden Vorgaben ausreichend sind, den Zielsetzungen der Einführung einer Wertstofftonne in hinreichend hohem Maß zu entsprechen. Um auf operativer Ebene durch vertragliche Vorgaben notwendige spezifische Prozessanpassungen zu initiieren bzw. sicherzustellen, bedarf es separater Quotenvorgaben. Diese werden als Steuerungs- und Kontrollinstrument umso wirksamer und praktikabler sein, je differenzierter nach einzelnen Materialarten, d.h. Werkstoffen bzw. ggfs. Produktgruppen differenziert wird. Für die „stoffgleichen“ NVP wird es insbesondere für erforderlich angesehen, unterschiedliche Verwertungspfade in der Differenzierung von Quoten nach Materialart (z. B. ferromagnetische Metalle von Bunt-, Leichtmetallen und Edelstählen abgrenzen; ggfs. separate Vorgaben für unterschiedliche Kunststoffe) bzw. Produktgruppen (z.B. CD/DVD oder Produkte aus PC) aufzugreifen.

Der technische Änderungsbedarf, der z. B. aus einer Erweiterung auf die Herstellung einzelner neuer Sorten in der Sortierung resultiert, wird sowohl technisch als auch ökonomisch vom Grundsatz her, d. h. nach industriellen Maßstäben, als überschaubar abgeschätzt. Trotzdem ist davon auszugehen, dass entsprechende Monofraktionen nur dann sortiert werden, wenn dieses einen ökonomischen Vorteil bringt oder entsprechende gesetzliche Vorgaben eine separate Verwertung und eine entsprechende Nachweisführung verlangen.

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Verpackungsentsorgung wird in Deutschland nach dem Prinzip der abfallrechtlichen Produktverantwortung durch die von Herstellern und Vertreibern finanzierten dualen Systeme durchgeführt. In sogenannten Gelben Säcken und Tonnen werden bundesweit flächendeckend Verpackungen aus Kunststoff, Metall und Verbundmaterial getrennt vom Hausmüll gesammelt und einer vorwiegend stofflichen Verwertung zugeführt. Der in den Haushalten erfasste Restmüll enthält jedoch noch immer Wertstoffe (Verpackungen und Nicht-Verpackungen, z. B. Verbunde, Fe-/NE-Metalle, Papier/Pappe/Kartonage (PPK), Glas, Kunststoffe).

Im Zuge der Bemühungen um eine Optimierung der Verwertung von Wertstoffen aus Hausmüll wurden bereits 2004/2005 Modellvorhaben umgesetzt, um die Getrennterfassung der dualen Systeme auf Nicht-Verpackungs-Wertstoffe auszudehnen. Aus abfallwirtschaftlicher und ökologischer Sicht positive Ergebnisse führten dazu, dass der Verordnungsgeber in der 5. Novelle der VerpackV erstmals eine Möglichkeit der Systemöffnung auf Nichtverpackungen verankerte:

„ *Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger können im Rahmen der Abstimmung verlangen, dass stoffgleiche Nicht-Verpackungsabfälle gegen ein angemessenes Entgelt erfasst werden...“* (§ 6 Abs. 4 Satz 5 VerpackV)

Darüber hinaus sieht die Koalitionsvereinbarung zwischen CDU, CSU und FDP für die 17. Legislaturperiode vor, die Verpackungsverordnung zu einer „Wertstoffverordnung“ fortzuentwickeln. Zentrales Element ist das Konzept einer sogenannten „trockenen Wertstofftonne“, in der Verpackungswertstoffe und Nicht-Verpackungs-Wertstoffe mit dem Ziel einer effizienten Verwertung gemeinsam erfasst werden sollen.

Korrespondierend zu dieser Zielsetzung findet sich im Referentenentwurf vom 06. August 2010 zur Novellierung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes nachstehende Regelung des § 10 Abs. 1:

„(1) Die Bundesregierung wird ermächtigt, nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 68) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates, soweit es zur Erfüllung der Pflichten nach § 7 Absatz 2 und 3, § 8 Absatz 1 und § 9, insbesondere zur Sicherung der schadlosen Verwertung, erforderlich ist,...

3. *Anforderungen an das Bereitstellen, Überlassen, Sammeln und Einsammeln von Abfällen durch Hol- und Bringsysteme, jeweils auch in einer einheitlichen Wertstofftonne gemeinsam mit gleichartigen Erzeugnissen oder mit auf dem gleichen Wege zu verwertenden Erzeugnissen, die einer verordneten Rücknahme nach § 25 unterliegen, festzulegen,“*

Vor diesem Hintergrund hat der Bundesrat die Bundesregierung gebeten, im Rahmen eines Planspiels die Möglichkeiten einer grundlegenden Novellierung der Verpackungsverordnung zu untersuchen.

Um zusammen mit weiteren Forschungsvorhaben Vorschläge für konzeptionelle Änderungen der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen zu erarbeiten, und zur Vorbereitung des Planspiels soll im vorliegenden Vorhaben die „Idealzusammensetzung“ einer „trockenen Wertstofftonne“ erarbeitet werden. Basierend auf einer quantitativen und qualitativen Analyse verschiedener Szenarien sollen die direkten Wirkungen der Einführung einer solchen Tonne sowie auch die Folgewirkungen in Bezug auf die Restmüllentsorgung dargestellt werden.

2. Definitionen

Anlagenbilanzierung

„Anlagenbilanzierung“ ist die Bilanzierung der Stoffströme und einzelner Inhaltstoffe (Stoffgruppen) einer Anlage. Zur Anlagenbilanzierung wird zu einer repräsentativen Inputmenge (i. d. R. 50 bis 100 t) die Outputmassenbilanz bestimmt. Alle Output- und ggf. Zwischenprodukte werden repräsentativ beprobt und auf ihre Zusammensetzung differenziert analysiert. Auf Grundlage der Massenverteilung und der Zusammensetzung der Massenströme werden Bilanzen für einzelne Inhaltstoffe berechnet (Kenngröße: Ausbringen).

Elektrokleingeräte

Elektrokleingeräte werden in diesem Bericht sofern keine weiteren Ergänzungen aufgeführt sind, als „kleinformatige Elektrogeräte“ verstanden. Damit ist nicht die Kategorie 2 „Elektrokleingeräte“ nach ElektroG zu verstehen. Sofern Elektrokleingeräte gemäß Kategorie 2 ElektroG gemeint sind, ist dieses entsprechend vermerkt.

Erfassungsquote

Der Begriff „Erfassungsquote“ wird im Rahmen des vorliegenden Berichts als Quotient aus getrennt erfasstem Wertstoff und spezifischem Wertstoffanteil in Restmüll und Wertstoffsammlung verwendet.

Leichtverpackungen (LVP)

Dies ist die Stoffgruppenbezeichnung für die Teilmenge der systemzugelassenen Verkaufsverpackungen nach § 3 Abs. 1 Nr. 2 VerpackV im Sammelgemisch.

LVP-Erfassungsmenge / LVP-Sammelmenge

Darunter ist das über das LVP-Erfassungssystem (Gelbe Tonne/Gelber Sack) tatsächlich eingesammelte Gemisch (ohne Wertung der inhaltlichen Zusammensetzung, d.h. systemzugelassene Materialien und auch Fehlwürfe) zu verstehen.

Nichtstoffgleiche Nichtverpackung

Bei den nichtstoffgleichen Nichtverpackungen (NStNVP) handelt es sich um trockene Wertstoffe aus Nichtverpackungsabfällen, die nicht den stoffgleichen Nichtverpackun-

gen zuzuordnen sind. Hiermit sind insbesondere gemeint: Holz, Textilien, Elektrokleingeräte, Batterien, Gummi (Beispiele werden in Abschnitt 4.3 beschrieben).

Sonderfall Papier und Glas: Für Verpackungen aus Papier/Pappe/Kartonagen (PPK), graphisches Altpapier und Behälterglas existieren bereits bewährte haushaltsnahe Sammelstrukturen und Verwertungsstrukturen mit einem hohen Erfassungsgrad. Die Einbeziehung dieser Materialien ist daher ebenso wie eine Einbeziehung organischer Abfälle (Biomüll) im Rahmen der Wertstofftonne und entsprechend in diesem Vorhaben nicht zu betrachten.

Produktspezifikation

Die Produktspezifikation stellt eine Qualitätsdefinition der dualen Systeme für Sortierprodukte an der Schnittstelle Sortierung/Verwertung dar.

Stoffgleiche Nichtverpackung

Unter dem Begriff stoffgleiche Nichtverpackungen (StNVP) werden hier diejenigen Wertstoffe zusammengefasst, die keine bzw. nur geringfügige Änderungen der bisher für Verpackungsabfälle eingesetzten Sortier- und Verwertungstechnik erforderlich machen (Metalle, Kunststoffe). „Stoffgleich“ ist also nicht im engeren Wortsinn aufzufassen. Eine Zuordnung von Artikeln zu den StNVP erfolgt unabhängig von der exakten, stofflichen Zusammensetzung ausschließlich unter Kompatibilitätsaspekten zur vorhandenen Verwertungsstruktur. Diese Wertstoffe sind aktuell nicht systemzugelassen.

Stoffgruppe

Aufgrund der Vielfalt unterschiedlicher Artikel, die in Abfallströmen gemeinsam erfasst werden, ist eine Beschreibung der Eigenschaften dieser komplexen Abfallgemische nur durch Zusammenfassung der Artikel zu Stoffgruppen möglich. Bei dem Begriff Stoffgruppe handelt es sich demnach um einen sortieranalytischen Begriff, wobei sich die Tiefe der Differenzierung und Gruppierung im Stoffgruppenkatalog an der jeweiligen Fragestellung orientiert (z. B. Folien > DIN A 4, StNVP aus Aluminium, Flüssigkeitskartons, StNVP aus NE-Metallen). Eine Normierung von Stoffgruppenkatalogen ist daher nur in Ausnahmefällen möglich. Die seitens der Verfasser verwendeten Stoffgruppenkataloge lassen sich i. d. R. auf die Ebene Produktspezifikation aggregieren.

Systemverträglichkeit

Es handelt sich dabei um eine Begrifflichkeit im Zusammenhang mit den Produktspezifikationen. Der Begriff ist zwar vertraglich nicht belastbar, gemeint ist aber, dass nur die Abfälle systemverträglich sind, die bei einer gemeinsamen Sortierung bzw. Verwertung mit Leichtverpackungen keine negativen Auswirkungen haben (wie sie z. B. schadstoffhaltige Materialien haben können).

Wertstoffpotenzial

Im Zusammenhang mit der Wertstofftonne ist hier die Summe aus spezifischer Wertstofffracht im Restabfall zuzüglich spezifischer Wertstofffracht im LVP-Erfassungssystem gemeint.

Wertstofftonne

Im Rahmen dieses Berichts umfasst der Begriff „Wertstofftonne“ alle Gefäßsysteme zur getrennten Erfassung der jeweiligen trockenen Wertstoffe (ohne Glas und Papier) unter Integration von LVP.

Zuweisungskatalog

Unter „Zuweisungskatalog“ wird eine Auflistung von Materialgruppen verstanden, für die das System der jeweiligen getrennten Wertstofferfassung vorgesehen ist. In der Regel wird der Zuweisungskatalog ergänzt durch Beispiele für die jeweiligen Abfälle.

3. Stand der Erkenntnisse zur Wertstofftonne

3.1 Projekte und Status [Stand: Dezember 2010]

Bundesweit gibt es bislang nur wenige Gebiete, in denen eine getrennte Wertstofferfassung eingeführt ist, in der neben LVP auch Nichtverpackungsabfälle zugelassen sind. In der nachfolgenden Tabelle sind alle laufenden sowie relevante Projekte in Planung aufgeführt.

Tabelle 3.1 Übersicht über die Regionen mit Modellvorhaben zur „Wertstofftonne“ oder Sondersammelsystemen

Gebiet	Sammelfraktionen	Erläuterung
Stadt Leipzig seit 09/2004	**LVP +** StNVP und Elektrokleingeräte	Gelbe Tonne plus Die Stadt Leipzig hat die Systembetreiber beauftragt, die StNVP und Elektrokleingeräte mitzuerfassen, zu sortieren und mit Ausnahme der Elektrokleingeräte zu verwerten.
Stadt Berlin Wohnungsbaugesellschaften mit ca. 410.000 Wohneinheiten – entsprechend 750.000 Einwohnern seit 01/2005	**LVP +** StNVP, Holz und Elektrokleingeräte	Gelbe Tonne plus Die Miterfassung wird als gewerbliche Sammlung der Firma ALBA auf Basis § 13 Abs. 3 KrW-/AbfG durchgeführt. Alba ist Erfassungsvertragspartner der Systembetreiber.
Landkreis Aurich Gemäß Satzung war die Miterfassung seit 1993 erlaubt. Seit 01.01.2010 ist sie mit den Systembetreibern vertraglich verankert.	**LVP im Sack +** stoffgleiche Nichtverpackungen	Gelber Wertstoffsack Die Miterfassung der StNVP erfolgt durch die Systembetreiber. 15 % des Sammelgemisches wird vom Landkreis nach Erfassung und vor der Sortierung übernommen.
Ostalbkreis Projekt im Teilgebiet der Stadt Schwäbisch Gmünd 01/2010 bis Ende 2010 geplant	**LVP +** Restmüll, Bioabfall und Papier jeweils in separatem Sack zusammen in einer Tonne	Rohstofftonne In einer kommunalen Rohstofftonne werden alle Fraktionen separat in Säcken erfasst. Nach Erfassung werden die einzelnen Säcke aus der Tonne getrennt.

Gebiet	Sammelfraktionen	Erläuterung
Rhein-Neckar-Kreis das System wurde bereits vor 1993 eingeführt	**LVP + PPK +** Kunststoffe und Metalle	Bei den Systembetreibern wird dieses System nicht als Wertstofftonne, sondern als „Sondersammelsystem LVP“ geführt. Die LVP-Erfassung ist organisatorisch eine Erweiterung der kommunalen Wertstoffsammlung (überwiegend PPK).
Landkreis Karlsruhe **und Stadt Karlsruhe** das System wurde bereits vor 1993 eingeführt	**LVP + PPK +** Holz, Kunststoffe und Metalle	Bei den Systembetreibern werden diese Systeme nicht als Wertstofftonne, sondern als „Sondersammelsystem LVP“ geführt. Die LVP-Erfassung ist organisatorisch eine Erweiterung der kommunalen Wertstoffsammlung (überwiegend PPK).
Stadt Hamburg ab 01.01.2011 Testphase in Teilgebieten abgeschlossen	**LVP +** StNVP In der Testphase wurden auch Holz und Elektrokleingeräte erfasst.	Hamburger Wertstofftonne Die Miterfassung des örE-Anteils soll durch die Systembetreiber erfolgen. Ein Teil des Sammelgemisches wird der Stadtreinigung Hamburg nach der Erfassung und vor der Sortierung übergeben. Der Anteil soll durch Sortieranalysen festgestellt werden.
Stadt Dortmund ab 01.01.2011 geplant	**LVP +** StNVP + Elektrokleingeräte	Wertstofftonne Die Erfassung soll in gemeinsamer Trägerschaft von Kommune und Systembetreibern erfolgen. Geplant ist eine Trennung in drei Obergruppen: 1. ein Verpackungskonzentrat inkl. StNVP: Übergabe an Duale Systeme 2. Reste: Entsorgung 3. NStNVP: Verwertung durch die Kommune

In vielen weiteren Städten werden zurzeit Vorbereitungen für die Einführung einer Wertstofftonne im Jahr 2011 getroffen. Konkrete Arbeiten, wie z. B. die Durchführung von Sortieranalysen, werden u. a. in folgenden Städten durchgeführt:

- Stadt Bochum
- Landkreis Gera
- Stadt Leverkusen
- Landkreis Böblingen
- Stadt Wuppertal
- Stadt Münster

- Stadt Duisburg
- Stadt Solingen

Weiterhin gibt es Projekte, in denen trockene Wertstoffe nicht zusammen mit LVP, sondern in einer separaten, kommunalen Tonne erfasst werden bzw. erfasst werden sollen. Alle Projekte und Planungen dieser Art liegen ausschließlich in kommunaler Trägerschaft. Erwähnenswert sind folgende drei Projekte:

Stadt Kassel: Das Projekt wurde von 06/2008 bis 03/2010 in einem Teilgebiet von Kassel mit 2.200 Haushalten mit 3.800 Einwohnern durchgeführt. Zugelassen in dieser „trockenen Tonne“ waren alle trockenen Bestandteile des Hausmülls. Es handelte sich tatsächlich um eine Zuweisung von Hausmüll in eine „trockene“ und eine „nasse“ Tonne. Da es sich nicht um eine gezielte Erfassung von „Wertstoffen“ handelte, sondern um eine Zuweisung von Hausmüll, sind die Ergebnisse aus diesem Projekt für die Fragestellung in diesem Vorhaben nicht übertragbar.

Rosenberg: In Rosenberg, einer Samtgemeinde im Neckar-Odenwaldkreis, werden seit 03/2010 in einer trockenen Wertstofftonne Kunststoff, Metalle, Verbundstoffe, Scherben, Leder, Holz und Gummi erfasst.

Berlin: Die Berliner Stadtreinigung (BSR) hat im Mai 2009 das Pilotprojekt „Service Orange“ zur Erfassung von Wertstoffen in Berlin gestartet. Dies beinhaltet u. a. die Bereitstellung einer Wertstofftonne (Orange Box) für Haushalte. Dort werden die NVP Metalle, Kunststoffe, Holz, Alttextilien und Elektrokleingeräte gesammelt. Ergänzend gibt es Tausch-/Sperrmüllecken (Orange Corner). An diesem Projekt nehmen 6.000 Haushalte teil. Im Jahr 2010 wurden in Siedlungsgebieten mit Ein- und kleineren Mehrfamilienhäusern (außerhalb des S-Bahn-Ringes) an Containerstellplätzen weitere 100 bis 150 Wertstoffiglus aufgestellt. In Bebauungen mit größeren Mehrfamilienhäusern (innerhalb des S-Bahn-Ringes) sollen die entsprechenden Müllplätze in naher Zukunft noch mit ca. 10.000 weiteren Wertstofftonnen ausgestattet werden [Stand: November 2010].

3.2 Ergebnisse aus den bislang durchgeführten Modellvorhaben

Die weiteren Auswertungen zu den technischen Daten beziehen sich schwerpunktmäßig auf die Modellvorhaben in Leipzig, Berlin und Hamburg. Weitere Bewertungen beziehen auch die Ergebnisse von Voruntersuchungen und Sortieranalysen aus Modellvorhaben ein, die erst in 2011 beginnen sollen.

Einige Modellvorhaben werden nicht weiter untersucht oder bewertet. Dieses hat folgende Gründe:

- Im Landkreis Aurich werden Verpackungen und StNVP in Säcken gesammelt. Eine wissenschaftliche Begleitung findet nicht statt. Untersuchungsergebnisse wären im Hinblick auf die Einführung einer einheitlichen Wertstofftonne auch für das Projekt nicht aussagekräftig, da das Sammelergebnis in Säcken mit dem Sammelergebnis in Tonnen nicht vergleichbar ist.
- Im Rhein-Neckar-Kreis, Landkreis Karlsruhe und der Stadt Karlsruhe werden Verpackungen und Druckerzeugnisse aus Papier miterfasst. Der Papieranteil beträgt über 75 % der Sammelmengen. Die Sortierergebnisse sind mit den Ergebnissen der Sammlungen ohne Papier/Pappe/Karton nicht vergleichbar. Die Miterfassung von Papier/Pappe/Karton ist als Modellvariante im Forschungsprojekt nicht vorgesehen.
- Die Projekte in Kassel, Rosenberg und Berlin (Orange-Box) werden nicht weiter betrachtet, da es sich nicht um eine gemeinsame Erfassung von Leichtstoffverpackungen und weiteren Wertstoffen handelt, sondern die Wertstoffe parallel zur LVP-Erfassung in einem zusätzlichen Erfassungssystem gesammelt werden.

3.2.1 Allgemeine Beschreibung der Erweiterung

Die hier näher untersuchten Erweiterungen der Gelben Tonnen um NVP-Wertstoffe erfolgten nach relativ einheitlichem Schema. Unter Beibehaltung des Zuweisungskatalogs für Leichtverpackungen wurde eine Öffnung für stoffgleiche Nichtverpackungen (StNVP) (Kunststoffartikel, Eisen- und Aluminiumartikel inkl. Buntmetalle) sowie aus der Gruppe der nichtstoffgleichen Nichtverpackungen (NStNVP) für Elektrokleingeräte

vorgenommen (vgl. Tabelle 3.2). Der Zuweisungskatalog für die Berliner Wertstofftonne (Gelbe Tonne plus) erfasst daneben eingeschränkt auch Holzartikel. Auf die Einbeziehung von Textilien wurde in allen Fällen verzichtet.

Die Umstellung auf die sog. „Gelbe Tonne^{plus}“ betraf in Leipzig das gesamte Stadtgebiet. Die „Berliner Wertstofftonne“ stellte ein Angebot an die Berliner Wohnungsbaugesellschaften dar, welches kontinuierlich ausgebaut wurde. Die „Hamburger Wertstofftonne“ wurde zunächst in kleineren Modellbezirken als Versuch eingeführt. Ab 2011 sollen nach flächendeckender Einführung der Wertstofftonne in Hamburg nur noch LVP und StNVP in der Wertstofftonne erfasst werden (ohne Elektrokleingeräte).

Tabelle 3.2 Zuweisungskataloge zu umgesetzten Modellvorhaben/Wertstofftonne/ -sack

Stoffgruppen	Gelbe Tonne Plus Berlin	Gelbe Tonne Plus Leipzig	Hamburger Wertstofftonne	Gelber Sack Plus Aurich
- Stoffgleiche Nichtverpackungen				
Kunststoffe	+	+	+	+
Fe-Metalle	+	+	+	+
Ne-Metalle				
- Aluminium	+	+	+	+
- Buntmetalle (ohne Alu)	+	+	+	+
- Nichtstoffgleiche Nichtverpackungen				
Holz				
- Kleinteile / Spielzeug	+	-	+	-
- Stückgröße bis max. Behältergröße	-	-	+	-
Textilien	-	-	-	-
Elektro				
- Elektrokleingeräte	+	+	+	-
- Glühlampen	-	+	-	-
- Batterien	-	-	-	-

Das Modell in Aurich wurde nicht wissenschaftlich begleitet (vgl. Kapitel 3.2), die weiteren genannten Modellvorhaben zur Wertstofftonne wurden wissenschaftlich begleitet (Leipzig und Berlin durch die Verfasser, Hamburg durch INFA). Die Ergebnisse wurden veröffentlicht (u. a. Schweitzer 2005, Langen u. a. 2008, Winterberg 2010),

so dass insbesondere zu dem Themenkreis qualitativer und quantitativer Auswirkungen der Systemumstellung eine transparente Datenbasis vorliegt.

Übereinstimmend lassen sich die Effekte wie folgt zusammenfassend skizzieren:

- Nach Systemumstellung stiegen die Sammelmengen signifikant an.
- Durch die offenkundig höhere Systemakzeptanz stiegen auch die Erfassungsquoten für Verpackungen.
- Der Anteil der Fehlbefüllungen stieg nicht an, sondern nahm tendenziell eher ab.

3.2.2 Auswirkungen der Systemumstellung auf die Zusammensetzung des Sammelgemisches

Die Veränderungen des Sammelgemischs sind im Einzelnen der Tabelle 3.3 zu entnehmen.

Zunächst ist u. a. auch im Hinblick auf die Übertragbarkeit der absoluten Ergebnisse festzustellen, dass die bislang umgesetzten und quantitativ dokumentierten Modellvorhaben lediglich in Großstädten durchgeführt wurden. Erfahrungsgemäß werden für hochverdichtete Gebietsstrukturen bezüglich Quantität und/oder Selektivität der getrennten Erfassung unterdurchschnittliche Ergebnisse erzielt. Einen groben Anhaltswert liefert die summarische LVP-Erfassungsmenge vor Systemumstellung, die lediglich für das Pilotgebiet Stadt Leipzig mit ca. 26 kg/E*a in der Größenordnung des Bundesmittels in Höhe von ca. 28 kg/E*a[1] liegt. Trotz dieser unterschiedlichen Startvoraussetzungen stellen sich die absoluten Veränderungen nach Systemumstellung vergleichsweise einheitlich dar.

Überschlägig beträgt die Steigerung der Erfassungsmenge im Mittel 7 kg/E*a, wovon in etwa 2 kg/E*a auf Zuwächse der jeweils miterfassten NStNVP (inkl. Elektrokleingeräte, z. T. Holz) entfielen.

Bei der Betrachtung der bereits vor der Systemumstellung im LVP-Sammelgemisch enthaltenen Mengen an stoffgleichen Nichtverpackungen wird darüber hinaus deutlich,

---

[1] Diverse Systembetreiber; Mengenstromnachweise (unveröffentlicht)

dass die Öffnung des Systems für diese Wertstoffe partiell eine Legalisierung bereits ausgeführter Praxis der Entsorgung stoffgleicher Nichtverpackungen durch den Endverbraucher darstellt. Die ermittelten Anteile StNVP in einer mittleren Größenordnung von etwas mehr als 10 % vor Einführung der Wertstofftonne bestätigen sich auch in aktuelleren von den Verfassern durchgeführten LVP-Analysen in einer Bandbreite von 9 % bis etwa 11,5 %.

In allen Modellvorhaben stieg mit Systemumstellung auch die Erfassungsmenge für Leichtverpackungen. Der absolute Zuwachs ist allerdings uneinheitlich. Der Parallelabgleich der spezifischen LVP-Sammelmenge vor Systemumstellung legt die Schlussfolgerung nahe, dass diese synergetischen Steigerungsraten dann besonders ausgeprägt sind, wenn der Erfassungserfolg vor der Umstellung als vergleichsweise niedrig einzustufen war.[2]

Tabelle 3.3 Ergebnisse einer Systemumstellung auf die Wertstofftonne (ATUS 2009)

	Leipzig Gelbe Tonne +		**Berlin Gelbe Tonne +**		**Hamburg Wertstofftonne**	
	Zusammensetzung		Zusammensetzung		Zusammensetzung	
	kg/E*a	%	kg/E*a	%	kg/E*a	%
Vor Systemumstellung						
LVP-Verpackungen	14,4	56,0 %	6,1	39,3 %	10,5	66,5 %
Stoffgleiche Nichtverpackung	3,5	13,4 %	1,9	12,3 %	1,6	10,1 %
Nichtstoffgleiche Nichtverpackung	0,0	0,0 %	0,9	5,4 %	n.b.	
Sonstige	7,9	30,6 %	6,7	43,0 %	3,7	23,4 %
Summe	**25,8**		**15,6**		**15,8**	
Nach Systemumstellung						
LVP-Verpackungen	15,3	45,6 %	8,4	36,8 %	13,8	63,9 %
Stoffgleiche Nichtverpackung	5,7	17,0 %	4,0	17,5 %	3,3	15,3 %
Nichtstoffgleiche Nichtverpackung	2,1	6,3 %	2,8	12,2 %	n.b.	
Sonstige	10,4	31,0 %	7,6	33,4 %	4,5	20,8 %
Summe	**33,5**		**22,8**		**21,6**	
Zuwachs durch Systemumstellung						
LVP-Verpackungen	0,8		2,3		3,3	
Stoffgleiche Nichtverpackung	2,2		2,1		1,7	
Nichtstoffgleiche Nichtverpackung	2,1		1,9		n.b.	
Sonstige	2,5		0,9		0,8	
Summe	**7,7**		**7,2**		**5,8**	

[2] Vgl. Tabelle 3.3

Systemumstellung im Pilotgebiet in Hamburg-Langenhorn war im Juni 2006. Systemumstellung in den Pilotgebieten Hamburg-Wilstorf und Hamburg Kirchdorf-Süd war im Oktober 2007. Die Untersuchungen vor Systemumstellung wurden 2005 durchgeführt. Die Untersuchungen nach Systemumstellung wurden in Hamburg-Langenhorn bis Februar 2008 und in Wilstorf/Kirchdorf bis Juni 2008 durchgeführt (ATUS 2009).

Die Systemumstellung in Leipzig und Pilotgebieten der Stadt Berlin erfolgten Ende 2004. O. a. Daten entstammen Untersuchungen, die im Zeitraum September 2004 bis Januar 2006 durch die Firma HTP, Aachen, durchgeführt wurden.

In Tabelle 3.3 sind die Ergebnisse der Übersichtlichkeit und besseren Vergleichbarkeit wegen zu Obergruppen aggregiert. Nachstehende Tabelle 3.4 weist die von den Verfassern erhobenen Daten zur Gemischzusammensetzung der Wertstofftonne im höheren Differenzierungsgrad aus. Im Einzelnen angegeben sind auch nochmals die absoluten Zuwächse aus dem Abgleich vor und nach Systemumstellung.

Aus dieser differenzierten Darstellung sind weitere Gemeinsamkeiten ersichtlich. So ist beispielsweise die Erfassungsmenge für Elektroaltgeräte mit etwas mehr als 1 kg/E*a nahezu identisch. Ferner zeigen sich Übereinstimmungen in Bezug auf die Artikelgruppen, die überproportionale Zuwächse aufweisen. Unter den stoffgleichen Nichtverpackungen wurden zusätzliche Mengen durch Metallartikel und formstabile Kunststoffartikel erschlossen, wohingegen das Nutzungsverhalten (und damit auch die Erfassungsmenge) für Folien durch die Systemerweiterung nahezu keine Veränderung erfährt.

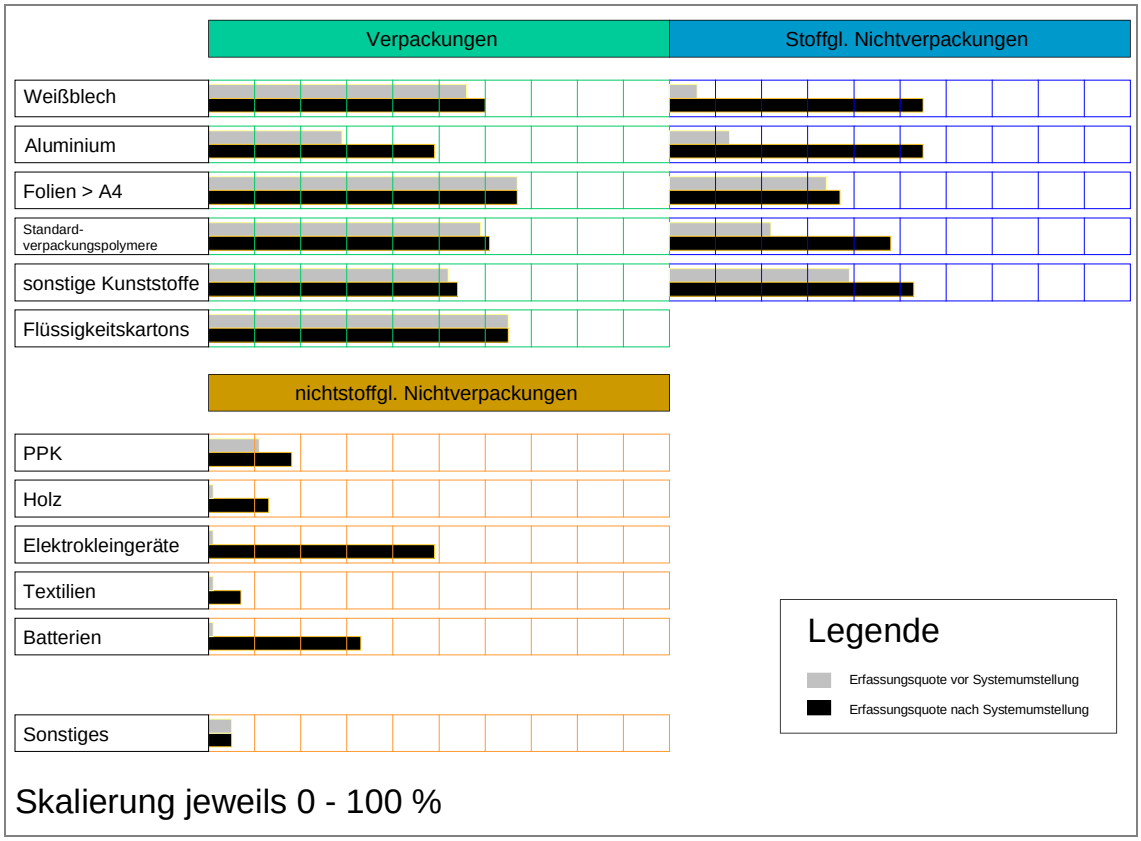
Tabelle 3.4 Mengenaufkommen und Zusammensetzung der Wertstofftonne sowie Mengenzunahme durch Systemumstellung in den Pilotgebieten Berlin und Leipzig

Stoffgruppen		Berlin			Leipzig		
		GT plus		Zunahme	GT plus		Zunahme
		Abs.	Anteil	Abs.	Abs.	Anteil	Abs.
Weißblech	VP	1,2 kg/E*a	5,1 %	0,4 kg/E*a	3,0 kg/E*a	9,0 %	0,2 kg/E*a
	StNVP	0,9 kg/E*a	3,8 %	0,5 kg/E*a	0,9 kg/E*a	2,7 %	0,8 kg/E*a
Aluminium	VP	0,5 kg/E*a	2,1 %	0,2 kg/E*a	1,0 kg/E*a	2,9 %	0,4 kg/E*a
	StNVP	0,2 kg/E*a	0,7 %	0,1 kg/E*a	0,3 kg/E*a	0,8 %	0,2 kg/E*a
Folien > A4	VP	1,0 kg/E*a	4,2 %	0,0 kg/E*a	1,3 kg/E*a	3,7 %	0,0 kg/E*a
	StNVP	0,9 kg/E*a	4,1 %	0,3 kg/E*a	1,1 kg/E*a	3,3 %	0,1 kg/E*a
Standardverpackungs-polymere	VP	3,1 kg/E*a	13,4 %	1,2 kg/E*a	5,3 kg/E*a	15,7 %	0,2 kg/E*a
	StNVP	0,9 kg/E*a	4,0 %	0,5 kg/E*a	0,7 kg/E*a	2,0 %	0,4 kg/E*a
Sonst. Kunststoffe	VP	1,0 kg/E*a	4,3 %	-0,1 kg/E*a	2,2 kg/E*a	6,6 %	0,1 kg/E*a
	StNVP	1,2 kg/E*a	5,5 %	0,7 kg/E*a	2,7 kg/E*a	8,2 %	0,7 kg/E*a
FKN	VP	1,3 kg/E*a	5,9 %	0,4 kg/E*a	2,2 kg/E*a	6,5 %	0,0 kg/E*a
PPK	NStNVP	4,3 kg/E*a	19,0 %	0,7 kg/E*a	3,8 kg/E*a	11,5 %	1,6 kg/E*a
Holz	VP	0,1 kg/E*a	0,3 %	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a	0,1 %	0,0 kg/E*a
	NStNVP	1,1 kg/E*a	4,7 %	0,8 kg/E*a	0,3 kg/E*a	0,9 %	0,3 kg/E*a
Textilien	NStNVP	0,4 kg/E*a	1,7 %	-0,1 kg/E*a	0,7 kg/E*a	2,1 %	0,7 kg/E*a
Elektrokleingeräte	NStNVP	1,2 kg/E*a	5,4 %	1,2 kg/E*a	1,1 kg/E*a	3,2 %	1,1 kg/E*a
Batterien	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,1 %	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a	0,1 %	0,0 kg/E*a
Rest		3,6 kg/E*a	15,8 %	0,3 kg/E*a	6,9 kg/E*a	20,7 %	0,9 kg/E*a
Summe		**22,8 kg/E*a**	**100,0 %**	**7,2 kg/E*a**	**33,5 kg/E*a**	**100,0 %**	**7,7 kg/E*a**

Grau unterlegt sind die Stoffgruppen, die nicht dem Zuweisungskatalog entsprechen.

Anschaulicher werden die skizzierten Veränderungen durch Systemumstellung, wenn diese nicht im Frachtenvergleich, sondern im Abgleich der spezifischen Erfassungsquoten dargestellt werden. Diese relativen Kenngrößen beziffern die prozentuale Aufteilung des jeweiligen Wertstoffpotenzials, wobei 100 % an dieser Stelle die Summe der spezifischen Frachten in Restabfall und LVP/Wertstofftonne bilden (vgl. Definition Erfassungsquote in Kapitel 2). Am Beispiel der aus Wertstoff- und Restabfallanalysen zur Systemumstellung für Leipzig entsprechend aufbereiteten Datengrundlagen in Abbildung 3.1 werden darüber hinaus weitere Effekte offenkundig.

Abbildung 3.1 Vergleich der spezifischen Erfassungsquoten vor und nach Systemumstellung am Beispiel Gelbe Tonne+ in Leipzig[3]



Zur besseren Einordnung der Ergebnisse sei an dieser Stelle wiederholt, dass die Effizienz der getrennten Erfassung für das Stadtgebiet Leipzig im Vergleich zum Bundesmittel als leicht unterdurchschnittlich einzuordnen ist. Vor diesem Hintergrund sind die gemessenen Erfassungsquoten, die sich für signifikante Verpackungsstoffgruppen (Weißblech, Folien > DIN A 4, Flüssigkeitskartons) in der Spitze in etwa bei 2/3 bewegen, als plausibel einzuordnen. Aus anderen Gebieten sind Werte bis 80 % bekannt (vgl. z. B. Langen 2010).

Bekannt ist ferner das Phänomen, dass sich die Erfassungsquoten einzelner Verpackungsmaterialgruppen nicht einheitlich darstellen (siehe Abbildung 3.1). Gesetzmäßigkeiten und mögliche Ursachen wurden jeweils an anderer Stelle diskutiert (HTP/IFEU 2001). Bei einer Übertragung von Ergebnissen ist dies zu berücksichtigen.

[3] Vgl. Tabelle 3.3

Es ist nicht zielführend, mit einer fixen Erfassungsquote über alle Materialien hochzurechnen (siehe Tabelle 4.9).

Vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung ist vornehmlich von Interesse, wie sich die Systemumstellung in veränderten Erfassungsquoten niederschlägt:

Bei den Verpackungsstoffgruppen weisen die Kennwerte nach Einführung der Wertstofftonne im Mittel den bereits oben erläuterten leichten Anstieg aus.

Die Erfassungsquoten für StNVP stiegen nach Einführung der Wertstofftonne demgegenüber signifikant an. Tendenziell stellen sie sich in etwa auf dem Niveau der korrespondierenden Verpackungsstoffgruppe ein.

Für die vorher analytisch nicht vorgefundene Stoffgruppe Elektrokleingeräte stieg die Erfassungsquote (vgl. Definitionen) nach Einführung der Wertstofftonne auf ca. 50 % an, was der Größenordnung nach den Werten für formstabile NVP-Kunststoffe oder NVP-NE-Metalle entspricht.

3.2.3 Technische Modifizierung der Sortierung

Als Besonderheit der Systemumstellungen in Leipzig und Berlin ist anzumerken, dass die dort errichteten Sortieranlagen der neuesten Generation bereits im Hinblick auf die veränderte Aufgabenstellung konzipiert bzw. im Vorfeld nachgerüstet wurden. Sie weisen u. a. folgende in dieser Beziehung relevante Merkmale auf, die nicht unbedingt zur Standardausrüstung einer LVP-Sortieranlage gehören (vgl. Kapitel 4.1):

- <u>Die Auslegung des Anlieferungslagers ermöglicht eine Getrennthaltung von Inputmaterialien mit speziellen Sortieranforderungen (zur Kampagnensortierung)</u>
  Größere Anlagen erhalten LVP-Anlieferungen aus einer Vielzahl von Entsorgungsgebieten, die in der Regel nicht getrennt gehalten werden (können). Da die Anlage für ein Sondersammelsystem **mit zusätzlichen Fraktionen** aus Gründen der Wirtschaftlichkeit anders zu parametrieren ist, ist die Möglichkeit einer kampagnenweisen Sortierung hierfür Voraussetzung.

- <u>Sog. Grobkornrückführung über Zerkleinerer</u>
  Dieses technische Ausstattungsmerkmal ermöglicht eine Mitverarbeitung auch

sperriger Komponenten (z. B. Kunststoffgartenmöbel) über die automatischen Trennstufen.

- Sensorgestütze Sortierstufe für Elektrogeräte
  Es wurde eine spezielle automatische Trennstufe eingebaut, die der Aussortierung von Elektrogeräten dienen sollte.

- EBS-Trennstufe
  Die stofflich nicht verwertbaren Anteile werden aufgesplittet in eine Fraktion zur energetischen Verwertung in besonderen Anlagen (Kraftwerke, Zementwerke) und eine Fraktion zur sonstigen Entsorgung.

- Kunststoffartensortierung
  Sortierung von Kunststoffen in die Standardpolymere PE, PP, PS, PET als Voraussetzung für eine gesicherte hochwertige werkstoffliche Verwertung.

4. Grundlagen der Diskussion und Bewertung

Vorhandene oder zu schaffende Voraussetzungen innerhalb der Verwertungsstrukturen sind die wesentlichen Orientierungspunkte für die Abgrenzung der zu betrachtenden Modellvarianten. Die relevanten technischen und rohstofflichen Grundlagen sollen daher der eigentlichen Ableitung und Formulierung einzelner Modelle vorangestellt werden.

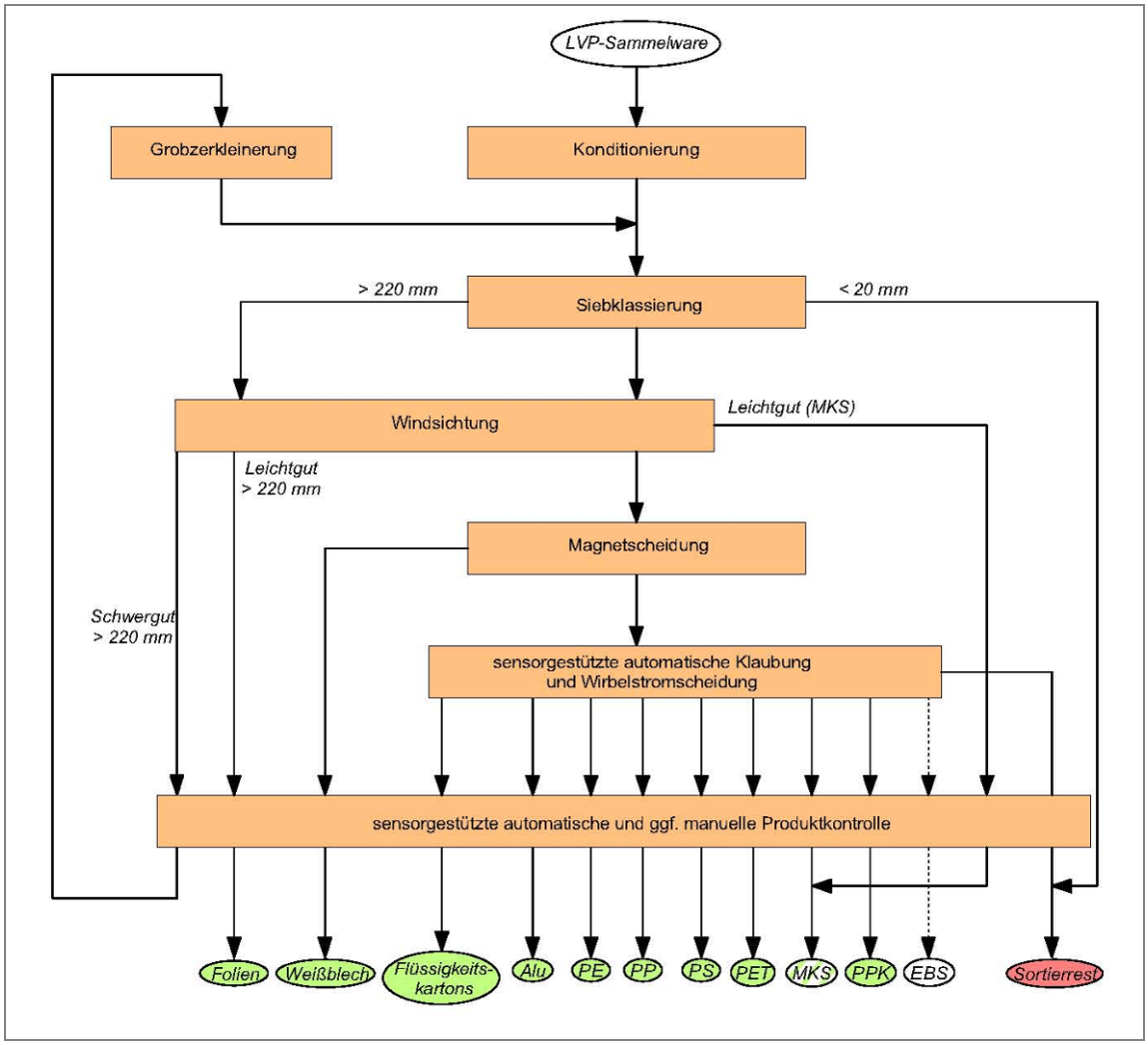
4.1 Stand der Technik der LVP-Sortierung und dessen betriebliche Umsetzung

4.1.1 Verfahrensbeschreibung

Der Stand der Technik der LVP-Sortierung kann wie in Abbildung 4.1 grob schematisch dargestellt skizziert werden. Aus der Abbildung ist zudem der Produktfächer einer LVP-Anlage nach dem Stand der Technik (Praxis moderner Anlagen) zu entnehmen. Stofflich verwertbare Produkte, die i. d. R. auch Erlösprodukte sind, sind vollflächig grün unterlegt.

Heutige Bestandsanlagen weisen nur zum Teil alle Attribute des Standes der Technik auf. Im grundsätzlichen Verfahrensablauf hat sich aber eine Standardisierung eingestellt. Diese resultiert u. a. daraus, dass bundesweit die LVP-Erfassungssysteme weitgehend einheitlich sind und auch an die Sortierprodukte einheitliche Anforderungen gestellt werden.

Abbildung 4.1 Schematische Darstellung einer LVP-Sortierung nach dem Stand der Technik[4]



Bei grob schematischer Darstellung auf Fließbildniveau gelten wesentliche Verfahrensmerkmale nachstehender Beschreibung auch verallgemeinert für alle Bestandsanlagen. Diese werden nachfolgend kurz erläutert. Bestehende wesentliche Unterschiede werden berücksichtigt:

Eingangsstufe des Prozessablaufs bildet stets die Gebindeöffnung. Zielsetzung dieses Prozessschrittes ist das vollständige maschinelle Aufreißen nicht nur von Sammelsäcken, sondern auch von verschlossenen Kleingebinden wie bspw. Müllbeuteln. Durch diesen Verfahrensschritt werden alle Einzelkomponenten freigelegt. Dies ist eine

[4] Christiani 2010

obligatorische Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit aller nachgeschalteten Prozessoperationen. Nach dem Stand der Technik wird diese Teiloperation zumeist 2-stufig ausgeführt und mit einer volumetrischen Dosierung gekoppelt.

Erste Trennstufe bildet dann die Siebklassierung mit in der Regel 2-funktionalen Trennschnitten. Die Absiebung gröberer Bestandteile erfüllt mehrere Funktionen. Primär dient sie zur Begrenzung des Materialstroms, der in der weiteren Abfolge automatisch sortiert wird, im Hinblick auf das verarbeitungsfähige Größenspektrum. Daneben wird mit der Absiebung gröberer Komponenten eine erste Anreicherung von großformatigen Folien erzielt, die als separate Sorte bereitgestellt werden. Einheitlich hat sich für diese sog. Primärabsiebung ein Trennschnitt von ca. 220 mm bewährt.

Der im Weiteren als Grobkorn bezeichnete Siebüberlauf (ca. 10 - 15 % des Inputstroms) wird zur Trennung von Kunststofffolien über Windsichter geführt. Das verbleibende Sichterschwergut kann generell manuell nachsortiert werden. In Anlagen nach Stand der Technik wird das grobe Sichterschwergut nachzerkleinert, um es für die mechanischen und automatischen Sortierprozesse der Mittelkornlinie(n) zugänglich zu machen.

Ein zweiter funktionaler Siebschnitt wird im Feinkornbereich gesetzt. Stand der Technik ist die Ausschleusung eines nahezu wertstofffreien Feinkorns bei 20 mm Maschenweite aus Gründen des Verschleißschutzes.

Der Hauptmassenstrom (20 mm – 220 mm, ca. 80 % - 85 % des Inputstroms) wird nach der Siebklassierung ebenfalls über Windsichter geführt. Anders als im Bereich der groben Körnung dient die Sichtung nicht primär der Produkterzeugung, sondern vielmehr der Vorbereitung des Wertstoffgemisches für die nachgelagerten Sortierprozesse: LVP ist ein Gemisch mit extrem niedriger Schüttdichte (25 - 40 kg/m³) - zu einem wesentlichen Anteil verursacht durch Gehalt an Kunststofffolien in knapp zweistelliger Größenordnung. Alle modernen Sortiertechniken sind funktionsbedingt auf Vereinzelung des Materialstroms zu Monoschichten angewiesen, die sich ohne weitgehende Abreicherung extrem dünnwandiger, flächiger Komponenten nicht darstellen lässt. Das Leichtgut der Mittelkornwindsichtung (überschlägig ca. 10 % der Inputtonne und mit einer Schüttdichte < 10 kg/m³) wird als Mischkunststoff ausge-

schleust. Je nach Papiergehalt der LVP-Sammelware bedarf es vorher einer Nachreinigung.

Nächster Schritt in der Verarbeitungskette ist die Abtrennung ferromagnetischer Bestandteile (Weißblech) durch Überbandmagnetscheider (9 – 13 % des Inputstroms). Das Produkt der Magnetscheidung wird i. d. R. nicht nachsortiert.

Nachfolgend wird der verbliebene Materialstrom, in dem sich formstabile Kunststoffe, NE-Metalle, Getränkekartons und sonstige Verbunde sowie Fehlwürfe wie PPK angereichert haben, einer Kaskade automatischer Trennstufen mit zwischengeschalteter Wirbelstromscheidung zugeführt.

Die Wirbelstromscheidung dient der Abtrennung metallischer, nicht ferromagnetischer Komponenten; aus dem Verpackungsbereich ist hier nur Aluminium relevant. Bezüglich des Funktionsprinzips und wesentlicher Randbedingungen wird auf Kapitel 5.2 verwiesen.

Auf die automatischen Trennstufen (aufbereitungstechnisch: sensorgestützte Klaubung = Einzelpartikelsortierung) soll an dieser Stelle etwas differenzierter eingegangen werden. Von allen anderen aufbereitungstechnischen Grundoperationen der Sortierung unterscheiden sie sich dadurch, dass unterschiedliche Materialeigenschaften nicht gleichzeitig auch zur physikalischen Trennung nutzbar sein müssen. Separiert werden kann das, was messtechnisch differenzierbar ist. Nachteilig ist die prinzipbedingte relative Durchsatzschwäche und die hohe Abhängigkeit des Trennerfolgs von den Möglichkeiten der Materialvereinzelung. An diesen Anforderungen scheiterten erste Versuche des Einsatzes im Abfallbereich Anfang der neunziger Jahre. Der Durchbruch der Technologie gelang Mitte der neunziger Jahre durch Detektionsverfahren und Austragseinteilungen, die die Trennung aus einer Monoschicht bei hohen Transportgeschwindigkeiten ermöglichten.

Wichtigstes Detektionsverfahren im Bereich der LVP-Sortierung ist die Nah-Infrarot-Spektrometrie, mit der sich Kunststoffe und andere kohlenwasserstoffhaltige Materialien differenziert erkennen lassen. Der Detektor ist über einem Beschleunigungsband kurz vor einer Bandübergabe angeordnet. Die Fördergeschwindigkeit liegt bei ca. 3 m/s. Gemessen wird die von der Objektoberfläche reflektierte Strahlung einer konventionellen Halogenlichtquelle. Nahinfrarotstrahlung wird von schwarzen Oberflä-

chen nicht reflektiert, so dass diese sich einer Detektion der Materialbeschaffenheit entziehen. Das emittierte Spektrum wird im Prozessrechner anhand von Referenzwerten abgeglichen. Bei positiver Erkennung wird entsprechend der Koordinaten der Objekterkennung ein gezielter Druckluftstoß mittels eines in der Übergabe angeordneten Düsenbalkens (Düsenabstand ca. 20 mm) ausgelöst, der zur Auslenkung des Zielobjektes führt.

Stand der Technik-Anlagen verfügen über bis zu 20 dieser Sortierautomaten in unterschiedlichen Funktionen. Neben reinen NIR-Trennern kommen für spezifische Aufgaben auch solche zum Einsatz, die mehrere Detektionsarten (z. B. NIR-, Farb- und Induktionsmessung) in einer Maschine realisieren (sog. multisensorische Trenner).

Generell sind in LVP-Sortieranlagen die Trennungsprozesse für die Separierung von Flüssigkeitskartons sowie die kollektive Kunststofftrennung dergestalt automatisiert.

Stand der Technik-Anlagen verfügen darüber hinaus über eine Unterfraktionierung formstabiler Kunststoffe nach Kunststoffart. Hierbei findet eine Separation der Verpackungskunststoff-Standardpolymere HDPE, PP, PET und PS statt. Die Verfahrenstechnik wurde 1999 erstmals erfolgreich als modulare Nachrüstoption in die Sortieranlage Trier implementiert und ist zwischenzeitlich in einer Vielzahl von Anlagen mit größerer Kapazität vorzufinden, wobei nicht immer alle vier Sorten produziert werden.

Trotz aller Automatisierung kann auch nach dem Stand der Technik nicht gänzlich auf eine manuelle Sortierung verzichtet werden. Dies liegt im Wesentlichen an sogenannten systematischen Fehlausträgen der automatischen oder mechanischen Trennstufen. Im Gegensatz zu zufälligen oder stochastischen Fehlern sind dies im Sinne des Sortierprinzips keine Fehlleistungen, sondern Konsequenz nur bedingt mit der eigentlichen Zielsetzung der Sortierung korrespondierender Trennmerkmale. Ursachen sind im Materialverbund oder in nicht vollständig erreichter Vereinzelung zu sehen. So liegt bspw. von LDPE-Folie überdecktes Papier im Referenzspektrum für Flüssigkeitskartons. Flüssigkeitskartons, die wegen ihrer Aluminium-Innenbeschichtung vom Wirbelstromscheider fehlausgetragen werden, sind ein weiteres Beispiel für einen systematischen Fehlaustrag. Auch ist die Sortieraufgabe mit korrekter Erkennung einer Materialart ggf. nicht abgeschlossen, da die Verwertung eine weitere Einengung

erfordert. So sind bspw. im Sortierprodukt HDPE Folien aus PE unerwünscht; Silikonkartuschen aus PE (wegen möglicher Restinhalte) sogar gänzlich ausgeschlossen.

In industriellen Großanlagen nach Stand der Technik werden solche Defizite einstufiger mechanischer und automatischer Trennung zwar weitgehend durch Nachreinigungsprozesse kompensiert. Aber auch hier hält man sich die Option offen, eine manuelle Nachkontrolle vorzunehmen. So verfügen auch modernste Anlagen über eine Sortierkabine, über die i. d. R. auf alle Sortierprodukte optionaler Zugriff vor der Pufferung und Ballierung gegeben ist.

Im Gegensatz zu den Anlagen in anderen Bereichen der Abfallsortierung verfügen LVP-Sortierkabinen über keine durchgehenden Sortierbänder. Die Produkte werden in Stichbändern in die Kabine geführt und enden über den jeweiligen Produktbunkern. In einigen Anlagen wird auch der Sortierrest zur visuellen Kontrolle des Betriebszustandes der Anlage nochmals in die Sortierkabine gefördert.

4.1.2 Technisch-ökonomische Zusammenhänge

Parallel zur prozesstechnischen Entwicklung fand eine Effizienz- und Kapazitätssteigerung der einzelnen verfahrenstechnischen Anlagenkomponenten statt. So sind bspw. heute Trommelsiebe mit 3,5 m Durchmesser bei einer Länge von 18 m verfügbar. Automatische Klaubesysteme werden in Systembreiten bis 2,8 m eingebaut. Alles dies ermöglichte es, die Leistungskennwerte einer einzelnen Anlage um etwa Faktor 10 zu steigern, verglichen mit der ersten Generation der LVP-Sortierung.

Als Stand der Technik gelten heute Durchsatzraten von mehr als 20 t/h entsprechend ca. 800 m^3/h bei einliniger Aufgabe.

Treiber der technischen Entwicklung bildeten zum einen die in der VerpackV vorgegebenen Quoten. So stehen z. B. die Entwicklungsarbeiten zur Realisierung einer vertieften Kunststoffsortierung nach Kunststoffarten in Zusammenhang mit den 1998 novellierten Anforderungen an die Kunststoffverwertung und der Präzisierung der Forderung nach werkstofflicher Verwertung.

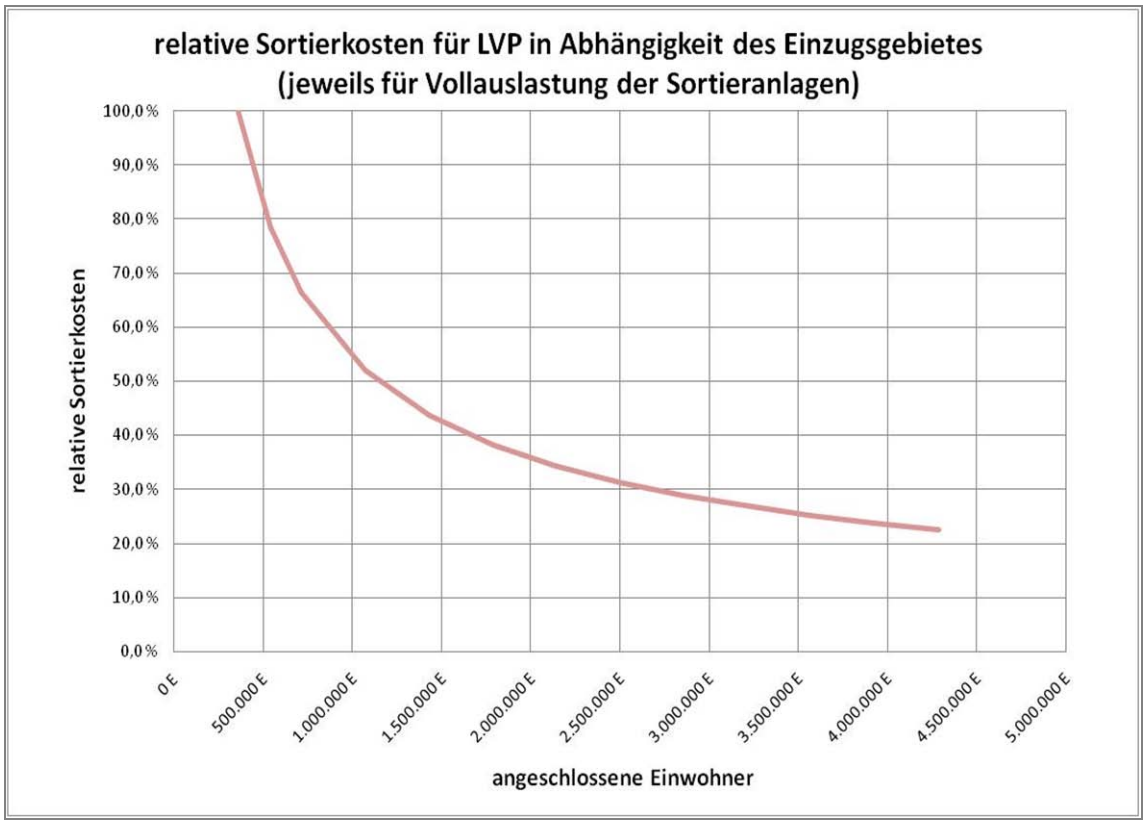
Unterhalb dieses Anforderungsrahmens wurden Innovationen individuell nicht nur im Wettbewerb, sondern auch innerhalb laufender Verträge immer dann aufgegriffen, wenn sie betriebswirtschaftlich vorteilhaft waren.

Die geschilderten technischen Entwicklungen eröffneten die Option, die Sortierkosten bzw. die Systemkosten unter Berücksichtigung der Verwertungserlöse in den vergangenen Jahren auf ein Bruchteil abzusenken (vgl. hierzu Abbildung 4.2 aus Christiani 2010). Hierfür sind in absteigender Bedeutung folgende Einflussfaktoren von Belang:

- Kostendegression durch Kapazitätssteigerung,
- Verbesserung der Erlössituation durch Produktdiversifizierung,
- Absenkung der Beseitigungskosten durch Ausbringensmaximierung.

Wie später noch ausgeführt, sind die beiden letztgenannten Punkte aus technisch-wirtschaftlichen Gründen an die erstgenannte Voraussetzung gekoppelt.

Abbildung 4.2 Sortierkosten in Abhängigkeit der Anlagenkapazität [Christiani 2010]



Die Implementierung der einzelnen Entwicklungsstufen in Bezug auf technische Ausrüstung und Prozesstechnik verlief relativ kurzfristig und ging einher mit einer zunehmenden Konzentration. Waren in Deutschland bis 2003 noch etwa 250 LVP-Sortieranlagen operativ tätig, ist deren Zahl zwischenzeitlich auf unter 100 gesunken.

Hierbei konzentrieren sich fast 90 % der ca. 2,2 Mio. t Sammelgemisch aus der getrennten Wertstofferfassung auf weniger als 50 Anlagen.

Herausragende Bedeutung haben sieben Großanlagen, die näherungsweise alle Attribute des Standes der Technik aufweisen, mit einer Gesamtkapazität von ca. 30 % des bundesweiten LVP-Aufkommens. Durch die Wirtschaftskrise wurde allerdings der Trend zur Realisierung weiterer Großanlagen gestoppt.

Viele der kleineren und mittleren Anlagen wurden vorwiegend im Zeitraum 1995 – 2005 weiter ertüchtigt. Hierbei ist eine weitgehende Standardisierung der Verfahrensführung eingetreten. Automatische Kunststoffsortierung (ohne Kunststoffartendifferenzierung), automatische Sortierung von Flüssigkeitskartons sowie mechanische Sortierung der NE-Metalle sind in allen Anlagen integriert.

Auch die Anzahl der Anlagen mit Kunststoffartensortierung hat in den vergangenen Jahren ständig zugenommen. Da es sich hierbei überwiegend um Anlagen mit hoher Kapazität handelt, wird heute bereits der überwiegende Anteil (ca. 70 %) des gesammelten LVP in diesen Anlagen verarbeitet (siehe Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1 Technische Ausstattung, Verarbeitungskapazität und aktuelle Verarbeitungsmenge der LVP-Sortieranlagen

Technische Ausstattung	Anzahl	Verarbeitungs-kapazität	Verarbeitungs-menge 2009
mit Kunststoffartensortierung	32	ca. 1.700.000 t/a	ca. 1.500.000 t
ohne Kunststoffartensortierung	60	ca. 1.400.000 t/a	ca. 700.000 t

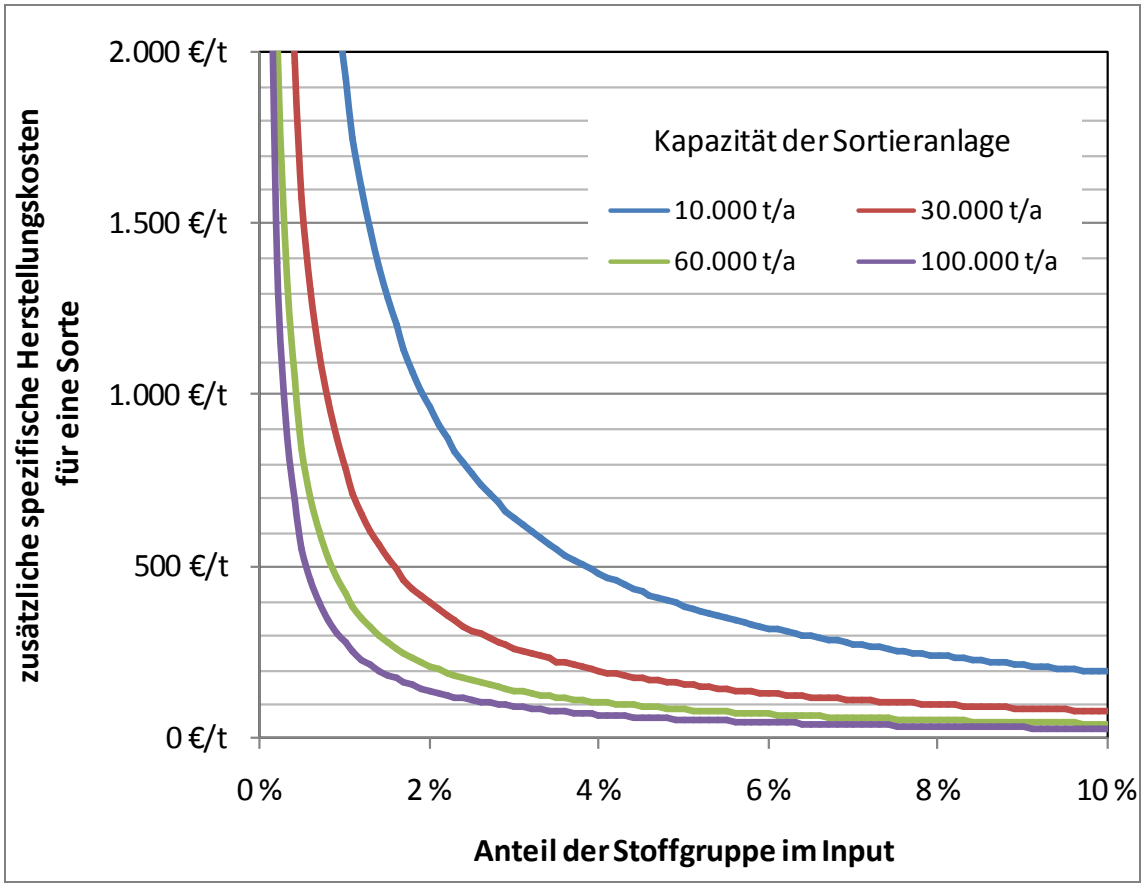
Abgesehen von sechs der oben erwähnten Großanlagen wurden die verfahrenstechnischen Weiterentwicklungen aufbauend auf den jeweiligen Bestand unter Ausschöpfung von Flächenreserven realisiert, so dass heute in vielen Fällen bauliche und genehmigungsrechtliche Restriktionen weitere Standortoptimierung hemmen bzw. überdurchschnittliche Aufwendungen nach sich ziehen. Wettbewerbsrechtliche Rahmenbedingungen, die zu kurzen Vertragslaufzeiten (1 - 3 Jahre) und hochgradiger Mengenstückelung führten, sind weitere Ursachen dafür, dass die Anpassungsgeschwindigkeit der betrieblichen Praxis an den Stand der Technik zwischenzeitlich signifikant abgenommen hat.

Wie im Zusammenhang von Abbildung 4.2 bereits angeführt, bildete die kapazitätsbezogene Fortentwicklung der LVP-Sortierung eine wesentliche Voraussetzung für technische Innovationen. Insbesondere war hieran die Option einer Diversifizierung der Kunststoffprodukte nach Kunststoffart und die damit verbundene Erschließung erheblicher ökonomischer und ökologischer Wertschöpfungspotenziale gekoppelt.

Der zugrundeliegende technisch-ökonomische Zusammenhang ist im Hinblick auf dieses Forschungsvorhaben auch jenseits der Materialgruppe Kunststoff (z. B. bei Holz) bei automatischer Sortierung von gravierender Bedeutung. Daher erfolgt anhand von Abbildung 4.3 eine überschlägige quantitative Präzisierung.

Dargestellt ist die Höhe der zusätzlichen Herstellungskosten (Investitions- und Betriebskosten) für eine (Kunststoff)-Sorte (z. B. HDPE) in Abhängigkeit von deren spezifischen Materialanteil im Sammelgemisch. Dies geschieht für unterschiedliche Größenklassen von Sortieranlagen. Der Berechnung der jeweiligen Herstellungskosten liegt zugrunde, dass im industriellen Aufbereitungsprozess zumindest zusätzlich eine automatische Trennstufe sowie die Installation einer Produktkontrolle inkl. Rahmentechnologie benötigt werden.

Abbildung 4.3 Abschätzung der spezifischen Herstellungskosten für eine zusätzliche Wertstoffsorte[5] im Rahmen der LVP-Sortierung in Abhängigkeit des Anteils des Eingangsmaterials und der Baugröße der Sortieranlage[6]



Die der Grafik zu entnehmenden Herstellungskosten je t sortenreines Aufbereitungsprodukt sind ggf. mit der ökonomischen Wertschöpfung zu saldieren. Beispielhaft für HDPE, das im Gemisch mit ca. 4 % enthalten ist, beträgt diese zurzeit ca. 250 - 300 €/t. Die Abbildung zeigt, dass die Herstellungskosten in einer kleinen Anlage etwa doppelt so hoch sind. Die Wirtschaftlichkeit wäre bei einer Durchsatzmenge der Sortieranlage von 30.000 t/a bereits gegeben und steigt bei größeren Durchsätzen signifikant an.

---

[5] Unter „Wertstoffsorte“ wird hier eine vermarktbare Materialfraktion verstanden, die eine oder mehrere bestimmte Stoffgruppe beinhaltet und über eine entsprechende Produktspezifikation als Handelsware definiert wird.

[6] Quelle: eigene Auswertungen

Eine potentiell technisch mögliche Aufbereitungsoption von Monosorten muss als Voraussetzung für eine hochwertige Verwertung angesehen werden. Als wichtige Schlussfolgerung aus dem aufgezeigten Zusammenhang ist festzustellen, dass dies vor dem Hintergrund der jeweiligen Werthaltigkeit zu diskutieren ist, insbesondere aber auch vor dem des anteiligen Aufkommens der Sorte im Wertstoffgemisch. Abbildung 4.3 verdeutlicht, dass bei Anteilen unterhalb von ca. 0,5 - 1 % des Eingangsmaterials die separate Bereitstellung einer Sorte mit der etablierten Verfahrenstechnik selbst in modernen Großanlagen nicht mehr betriebswirtschaftlich darstellbar ist.

4.2 Anforderungen im Rahmen der Verwertung von Sortierprodukten der LVP-Sortierung

Seit Einführung der getrennten Erfassung von Verpackungsabfällen haben sich Produktspezifikationen an der Schnittstelle zwischen Sortierung und Verwertung herausgebildet, die zu einer weitgehenden Vereinheitlichung von Art und Qualität zur Verwertung bereitgestellter Sortieranlagenprodukte geführt haben. Dies geschah im Wesentlichen aufgrund der Verzahnung zwischen sortiertechnischen Möglichkeiten und verwertungstechnischen Anforderungen.

Die Entwicklung der Produktspezifikationen ist, insbesondere im Kunststoffbereich, seit den Anfängen einem dynamischen Prozess unterworfen. Dieser wurde zunächst von folgenden Faktoren maßgeblich beeinflusst:

- Schaffung von Absatzmärkten für die im Rahmen der Verwertung erzeugten Sekundärrohstoffe und parallel dazu
- Entwicklung neuer bzw. Weiterentwicklung vorhandener Sortier- und Aufbereitungstechnologien und
- Rückkopplung zur Sortierung durch die Benennung von Anforderungen und Unverträglichkeiten im Rahmen der Verwertung.

Führend ist hierbei der erstgenannte Punkt. Dies schlägt sich in der Formulierung der Produktspezifikationen dergestalt nieder, dass in Angleichung an die Sortendifferenzierung von Primärrohstoffen noch teilweise unterhalb der jeweiligen Materialart (z. B. PE-

Kunststoff) differenziert wird (z. B. HDPE/LDPE), um überhaupt eine Marktfähigkeit des Endproduktes zu gewährleisten.

Im Jahr 2006 erfolgte die Umstellung von auf Verpackungen ausgerichteten Spezifikationen hin zu stoffbezogenen Spezifikationen. Damit wird der Realität in der Zusammensetzung von LVP-Gemischen bezüglich der enthaltenen stoffgleichen Nichtverpackungen insofern Rechnung getragen, als dass die Orientierung der Produktspezifikationen an der Verwertbarkeit der Artikel und nicht nach deren Herkunft ausgerichtet wurde. Beispielsweise zielt die Spezifikation für Folien auf ein LDPE-Produkt ab. Ob es sich dabei um verpackungsstämmige Folien handelt, ist im Hinblick auf die Verwertung von untergeordneter Bedeutung. In der Konsequenz wurde in der Produktspezifikation der Begriff Verpackungen durch den Begriff systemverträgliche Artikel ersetzt. Der Begriff Verpackungen findet sich im Wesentlichen nur noch in denjenigen Spezifikationen, in denen stoffgleiche Nichtverpackungen keine oder nur geringe Bedeutung haben (z. B. Getränkekartons) oder dort, wo StNVP aufgrund gänzlich anderer Beschaffenheit zu Qualitätsminderungen führten (PET).

Hinsichtlich der Zuordnung von Materialverbunden zu den einzelnen Sorten erfolgt die Abgrenzung in der Praxis üblicherweise über eine 50 %-Grenze, d. h. das jeweilige Partikel muss mindestens einen Anteil von 50 % des betreffenden Stoffes aufweisen. Eine Ausnahme bilden hier sehr werthaltige Materialien wie Aluminium, die auch bei geringeren Anteilen in der Sorte als systemverträglich eingestuft werden.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der Produktspezifikationen ist die explizite Ausweisung systemunverträglicher Komponenten, die eine Verwertung im prioritären Verwertungsweg gefährden. Neben der Vereinheitlichung und Qualitätsbeschreibung der Sortierprodukte übernimmt die Produktspezifikation somit eine stoff- und/oder artikelbezogene Steuerungsfunktion im Hinblick auf eine hochwertige Verwertung.

In Tabelle 4.2 sind die maßgeblichen Produktspezifikationen mit den wesentlichen Ausschlüssen im Hinblick auf den Verwertungsweg zusammengestellt.

Die Aufstellung zeigt, dass für Sorten zur werkstofflichen Verwertung nur vereinzelt Ausschlüsse existieren. Bei Sorten, die teilweise oder vornehmlich einer energetischen Verwertung zugeführt werden, sind Ausschlüsse im Wesentlichen für PVC und PVC-haltige Artikel formuliert. In Abhängigkeit des jeweiligen Verwertungsverfahrens können weitere Stoffe wie z. B. Holz und Elektroartikel eingeschränkt sein.

Neben den Ausschlüssen, die die Verwertung der Produkte im prioritären Entsorgungsweg grundsätzlich in Frage stellen, sind in der Produktspezifikation Reinheitsanforderungen im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Verwertung formuliert. Beispielhaft seien hier PPK-Anteile in Kunststoffprodukten genannt, die in nasstechnischen Aufbereitungsprozessen überproportional hohe Restanteile verursachen.

Zusammengefasst versteht sich die Produktspezifikation somit als eine Synthese aus verwertungstechnischen Anforderungen und sortiertechnischen Möglichkeiten. Die Systemverträglichkeit von StNVP kann vorausgesetzt werden, wenn Kompatibilität in Bezug auf die Produktspezifikation besteht (siehe Konkretisierungen in den Kapiteln 5.1 bis 5.5). Im Umkehrschluss ist eine Mitverwertung aktuell nicht sinnvoll darstellbar, wenn über die Produktbeschreibung kein Einschluss oder sogar ein Ausschluss erfolgt.

Die einzige Ausnahme von letztgenannter Regel bilden Nichteisen-Metalle (siehe Kapitel 5.5). Hier ist anzumerken, dass in der Praxis auch Buntmetalle und Legierungen wie Kupfer und Messing sowie Edelstähle entgegen der Spezifikation nicht nur enthalten sein dürfen, sondern sogar erwünscht sind.

Tabelle 4.2 Produktspezifikationen für Sortierprodukte aus LVP-Sammelmengen und wesentliche Ausschlüsse

Produktspezifikation	Beschreibung	Wesentliche Ausschlüsse	Prioritärer Verwertungsweg
Weißblech	systemverträgliche Artikel aus Weißblech, wie z. B. Getränke-, Konservendosen und Eimer	Geschlossene Hohlkörper (z. B. Feuerlöscher), Sprengkörper sowie Elektrogeräte, Kupferkabel, Batterien und Strahlungsquellen	Stahlindustrie
Aluminium	systemverträgliche Artikel aus Aluminium bzw. Aluminiumfolie enthaltend wie z. B. Schalen, Einwickelfolie	Eisenmetallhaltige Artikel	Pyrolyse, Aluminium-industrie
Getränkekartons	systemverträgliche Verkaufsverpackungen aus Kartonverbundmaterialien bestehend aus Karton/PE oder Karton/Aluminium/PE zur Abfüllung von flüssigen und pastösen Produkten, wie z. B. Milch-, Saft- und Fertigsoßenkartons	Sonstige Artikel aus Papier, Pappe, Karton	Papierindustrie
Eimer / Kanister	formstabile, systemverträgliche Kunststoffartikel: Flaschen > 5 Liter Eimer, Kanister und Großgebinde < 200 Liter		Werkstoffliche Kunststoffverwertung Regranulierung
Folien	systemverträgliche Artikel aus Kunststoff-Folie, Fläche > DIN A4 wie z. B. Beutel, Tragetaschen und Schrumpffolien		Werkstoffliche Kunststoffverwertung Regranulierung
PE	formstabile, systemverträgliche Kunststoffartikel aus Polyethylen, Volumen < 5 Liter wie z. B. Flaschen und Schalen	Kartuschen für Dichtmassen	Werkstoffliche Kunststoffverwertung Regranulierung
PP	formstabile, systemverträgliche Kunststoffartikel aus Polypropylen, Volumen < 5 Liter wie z. B. Flaschen, Schalen und Becher		Werkstoffliche Kunststoffverwertung Regranulierung
PS	formstabile, systemverträgliche Kunststoffartikel aus Polystyrol, Volumen < 1 Liter wie z. B. Becher und Schalen,		Werkstoffliche Kunststoffverwertung Regranulierung
PET	formstabile, systemverträgliche Verpackungen aus Polyethylenterephthalat (PET), Volumen < 5 Liter	PVC-Artikel	Werkstoffliche Kunststoffverwertung Mahlgut
Mischkunststoff	systemverträgliche Artikel aus verpackungstypischen Kunststoffen (PE, PP, PS, PET)	PET-Flaschen transparent PVC-Artikel, die keine Verpackung sind.	Werkstoffliche oder energetische Verwertung
Ersatzbrennstoff	systemverträgliche Artikel aus verpackungstypischen Kunststoffen (PE, PP, PS, PET) sowie Papier, Pappe, Kartonagen und Papierverbunde	Textilien und Schuhe, Elektro- und Elektronikartikel, PVC-Artikel und Holz	Energetische Verwertung

4.3 Abgrenzung und Beispiele von StNVP und NStNVP

In Anlage 1 sind Artikelbeispiele und Produktgruppen aufgelistet, aus denen die Zuordnung einzelner NVP zu den genannten Kategorien und Stoffgruppen ersichtlich ist. Neben dieser Systematisierungshilfe soll die Sammlung von Beispielen auch eine plastische Vorstellung der abstrakten Begrifflichkeiten ermöglichen. Für die jeweiligen StNVP/NStNVP-Materialgruppen sind die Artikel orange unterlegt, die im Rahmen von Sortieranalysen in einem signifikanten Umfang festgestellt werden konnten. Die so gekennzeichneten Artikel sind im Wesentlichen den Sortimentsgruppen Haushaltswaren (inkl. Gartenbedarf und Spielwaren), Bürobedarf, Innenausstattung und Accessoires, Eisenwaren und Drogerieartikel zuzurechnen.

In Kapitel 4.2 wurde bereits ausgeführt, dass die Schnittstelle zwischen Sortierung und Verwertung durch Produktspezifikationen abgebildet wird, die StNVP einbeziehen. Zurzeit für die Verwertung unverträgliche Komponenten sind hierin ebenfalls angeführt (siehe „Ausschlüsse“ in Tabelle 4.2).

Zusätzliche, grundsätzliche Restriktionen, die nur die Sortierung betreffen, existieren nicht. Hierzu ist lediglich anzumerken, dass je nach Stand der Ausführung der Sortieranlage das Wertschöpfungspotenzial der StNVP-Kunststoffe in unterschiedlichem Maße durch Überführung in werkstofflich verwertbare Fraktionen erschlossen werden kann.

Die Systemkompatibilität von StNVP bildet sich also durch einen Abgleich von Produktspezifikationen zu den einzelnen Artikeln bzw. Artikelgruppen ab. Ein entsprechend verkürzter Auszug aus Anlage 1 in dem dieser Abgleich vorgenommen wird, findet sich in Tabelle 4.3. In zwei Bereichen fehlt die vollständige Überdeckung. Der eine betrifft die „stoffgleichen“ NE-Artikel, die nicht aus Aluminium bestehen. Diese Deckungslücke ist, wie schon angeführt, historisch bedingt. Entsprechend schlossen alle Wertstofftonnen-Projekte auch Buntmetallschrotte ein, die in Sortieranlagen unproblematisch und in Verwertungsanlagen willkommen sind.

Die zweite Deckungslücke betrifft unterhalb der StNVP-Kunststoffe PVC-Artikel. Ein eigenständiges Produkt für PVC existiert nicht und in allen übrigen Kunststoffprodukten ist PVC als Störstoff anzusprechen, so dass hierfür aktuell eine faktische Systemunverträglichkeit gegeben ist.

Tabelle 4.3 Systemkompatibilität von StNVP anhand von Artikel- und Artikelgruppenbeispielen

stoffgleiche Nichtverpackungen	Produktspezifikation	Beispielkatalog
Eisenschrott	Weißblech	Eisenwaren (z.B. Nägel, Schrauben)
		Heftklammern
		Töpfe, Pfannen
		Küchenartikel aus Metall und KS (z.B. Küchenreibe, Dosenöffner)
Aluminium	Aluminium	Teflonpfannen
		Grillschalen (ohne Produkt)
NE - Schrott	-	Beschläge
nicht magnetisierbare Stähle		Dekorationsartikel
		Edelstahlpfannen
Folie > DIN A4	Folien	Müllsäcke, -beutel
PE	Polyethylen (PE) / Mischkunststoffe	Frischeboxen (PE)
		Schutzkappen/-hülsen (z.B. für Rasierapparate, sonstige Schneidwerkzeuge)
		Kinderspielzeug (PE, PP)
PP	Polypropylen (PP) / Mischkunststoffe	Filmpatronen/-döschen
PS	Polystyrol (PS) / Mischkunststoffe	Videokasetten (PS)
		Blumenkasten (PS)
		CD/DVD-Hüllen (PS, PP)
EPS	Expandiertes Polystyrol	Dämmplatten
sonstige Kunststoffe exkl. Kunststoffarten (PE, PP, PET, PS)	Mischkunststoffe	Filzstifte, Kugelschreiber (KS u.a.)
		Sortiereinsätze bzw. Einsätze mit Spielfunktion (z.B. Chemiebaukasten, Gesellschaftsspiele)
		Einwegspritzen
		Wursthaut (KS, sonst. Mat.)
		Kleiderbügel (KS und Metall)
		Feuerzeuge (KS und Metall)
		CD / DVD (PC)
		Blenden, Wippen, Abdeckungen für Schalter und Steckdosen (ABS)
Folie < DIN A4		Gefrierbeutel (PE)
		Frischhaltefolien
		Handschuhe bei Haarfärbemitteln
		Dokumentenhülle (PE, PP)
		Frühstücksbeutel (PE)
PVC	-	Kabelkanäle (PVC selbstlöschend)
		Duschvorhang (PVC)
Großformatige Kunststoffartikel	Kunststoff-Hohlkörper	Putzeimer (PE, PP)
		Wäschekorb (PE, PP)
		Faltkisten, Transportkisten, Stapelboxen (PE, PP)

4.4 Wertstoffpotenziale in Restabfall und LVP-Erfassungsmenge sowie Beschreibung des Referenzmodells M_0

4.4.1 Wertstoffpotenziale in der LVP-Erfassungsmenge

Als Wertstoffpotenziale werden in vorliegender Untersuchung die spezifischen Wertstofffrachten im Restabfall zuzüglich der bereits über das LVP-Erfassungssystem getrennt erfassten spezifischen Mengen bezeichnet. Sonstige Abfallströme wie z. B. Sperrmüll oder Mengen, die derzeit über separate Erfassungssysteme erfasst werden (z. B. Textilien aus gewerblichen Sammlungen oder Elektrokleingeräte aus Erfassungssystemen des örE) bleiben unberücksichtigt.

LVP-Aufkommen und -Zusammensetzung unterliegen einer Vielzahl von Einflussgrößen. Nachgewiesen wurden in früheren Arbeiten Abhängigkeiten von sozioökonomischen Faktoren, vom Behältersystem (Sack oder Tonne) sowie von weiteren abfallwirtschaftlichen Randbedingungen (z. B. Art der Papiererfassung, Gebührenmaßstäbe) - vgl. z. B. HTP/IFEU 2001, HTP/INFA 1999. Auf sehr breiter Datenbasis wurden in diesen Untersuchungen auch bundesweite Durchschnittswerte abgeleitet, die aber heute in Anbetracht einer Vielzahl von zwischenzeitlich eingetretenen Veränderungen (wie Sortimentsveränderungen, Pflichtpfandeinführung etc.) nicht mehr aktuell sind. Neuere Analyseergebnisse sind nur vereinzelt publiziert. Aus nicht veröffentlichten Untersuchungen in Vorbereitung auf eine geplante Umstellung auf die Wertstofftonne, im Wesentlichen aber auch aus Analysen zu Schiedsgutachten und Anlagenbilanzen, denen Mischproben aus mehreren Vertragsgebieten zugrunde liegen, wurde die in Tabelle 4.4 ausgewiesene mittlere Zusammensetzung abgeschätzt. Die Daten wurden anhand der aktuellen Mengenstromnachweise plausibilisiert. Die Ergebnisse dieser Abschätzung korrespondieren näherungsweise mit den für Gera ermittelten Werten (Langen 2010). Die Frachtenermittlung erfolgte durch Bezugsetzung auf die bundesweite LVP-Sammelmenge 2009.

Tabelle 4.4 Aufkommen und Zusammensetzung LVP im Referenzszenario (HTP 2010)

Stoffgruppe[2)]		Zusammensetzung	Aufkommen in der LVP-Sammelmenge
Weißblech	Verpackung (LVP)	11,1 %	3,1 kg/E*a
	StNVP	1,2 %	0,3 kg/E*a
Aluminium	Verpackung (LVP)	3,6 %	1,0 kg/E*a
	StNVP	1,2 %	0,3 kg/E*a
Folien > Din A 4	Verpackung (LVP)	3,9 %	1,1 kg/E*a
	StNVP	3,8 %	1,1 kg/E*a
Standardverpackungspolymere	Verpackung (LVP)	21,6 %	6,0 kg/E*a
	StNVP	2,4 %	0,7 kg/E*a
Sonstige Kunststoffe	Verpackung (LVP)	14,1 %	3,9 kg/E*a
	StNVP	3,8 %	1,0 kg/E*a
FKN	Verpackung (LVP)	7,5 %	2,1 kg/E*a
PPK (inkl. PPK-Verbunde)[2)]	Verpackung (z.T. LVP)	3,1 %	0,9 kg/E*a
	NStNVP	4,4 %	1,2 kg/E*a
Holz	Verpackung	0,0 %	0,0 kg/E*a
	NStNVP	0,1 %	0,0 kg/E*a
Textilien	NStNVP	0,3 %	0,1 kg/E*a
Gummi	NStNVP	0,0 %	0,0 kg/E*a
Elektrokleingeräte	NStNVP	0,3 %	0,1 kg/E*a
Batterien	NStNVP	0,0 %	0,0 kg/E*a
Rest	NStNVP	17,8 %	4,9 kg/E*a
Summe[1)]		**100 %**	**27,7 kg/E*a**
Zusammenfassung LVP, StNVP und NStNVP			
Summe LVP[1)2)]	Verpackung (LVP)	**65,3 %** (inkl, 3,1 % PPK/PPK-Verbunde)	**18,1 kg/E*a** (inkl, 0,9 kg/E*a PPK/PPK-Verbunde)
Summe StNVP[1)]	StNVP	12,4 %	3,4 kg/E*a
Summe NStNVP[1)] (nur Holz, Textilien, Gummi)	NStNVP	0,4 %	0,1 kg/E*a
Elektrokleingeräte	NStNVP	0,3 %	0,1 kg/E*a
Batterien	NStNVP	0,0 %	0,0 kg/E*a

1) Geringe Abweichungen in der Summe ergeben sich durch Rundungen.

2) In den einzelnen Stoffgruppen sind auch immer Verbunde enthalten, die mit dem Hauptmaterial der entsprechenden Stoffgruppe zugeordnet werden können. So bilden Verpackungen aus PPK und PPK-Verbunden immer eine gemischte Materialfraktion und werden zusammen bilanziert. Dabei ist der Anteil der PPK-Verbunde den Leichtverpackungen zuzuordnen. Daher sind sie auch in der Aufstellung und der Summe LVP aufgeführt.

4.4.2 Wertstoffpotenziale im Restabfall

Komplexer gestaltet sich die Abschätzung noch im Restabfall enthaltener Wertstofffrachten.

Abgesehen von wenigen Analysen, die im Rahmen der Begleitung bzw. in Vorbereitung von Wertstofftonnenprojekten restabfallseitig vorgenommen wurden, liegen kaum Daten in dem hierzu benötigten Differenzierungsgrad vor. Erschwerend kommt hinzu, dass die Stoffgruppendefinitionen in Restabfallanalysen nicht einheitlich sind. Zur Veranschaulichung der Problematik sei angeführt, dass Schuhe und Textilien häufig zusammen unter der Stoffgruppe „Textilien“ analysiert und zusammengefasst wurden, Batterien sind in der Stoffgruppe Problemabfälle aufgegangen, Elektroaltgeräte ggf. unter „Verbundmaterialien“ eingeordnet. Auch wird eine Unterscheidung der Stoffgruppen Metalle nach Verpackung und Nichtverpackungsanteilen nicht generell praktiziert.

Evident ist aber auch, dass in einzelnen Gebieten erhobene Daten zur Restabfallzusammensetzung angesichts der bekannten Abhängigkeiten nicht generalisiert werden können, auch wenn sie als repräsentativ für einzelne Regionen gelten dürfen.

Um zu einer Abschätzung noch im Restabfall enthaltener Wertstofffrachten zu gelangen, wurde vor diesem Hintergrund folgendes Vorgehen gewählt:

In einem ersten Schritt wurden ausgewählte Literaturdaten (z. T. Einzelergebnisse, z. T. Mittelwerte mit größerer Datenbasis) und eigene Analysen durch Zusammenfassen von Stoffgruppen auf einem Niveau gegenübergestellt, welches einen relativ durchgängigen Vergleich ermöglicht.

Tabelle 4.5 Daten zur Restmüllzusammensetzung

	EdDE-Doku	Kern 2001	Bayern LfU	Land-kreis Stendal	Magde-Burg 4)	Berlin 1)	Leipzig 1)	Gera
Jahr der Analyse/ Veröffentlichung	2005-2007	2001	2007	2002-2003	2000-2001	2004-2005	2004-2005	2008
Stoffgruppe	%	%	%	%	%	%	%	%
Metalle	2,7	3,8	4,2	3,6	4,2	3,4	3,2	2,8
Kunststoffe	9,2	5,8	71	6,0	9,6	9,5	7,1	10,0
PPK	10,5	14,3	4,9	4,3	14,5	19,9	10,5	6,6
Holz	1,9	1,6	1,1	0,9	2,4	1,1	1,4	3,2
Textilien	4,9	2,6 3)	3,2	4,3	3,7	3,2	5,8	7,1
Elektrokleingeräte	k.A.	k.A.	0,3	1,7	k.A.	1,2	1,3	0,6
Batterien	k.A.	k.A.	<0,1	0,3	0,5	0,02	0,04	0,1
Gummi	k.A.	k.A.	0,3	0,4	0,0	k.A.	k.A.	k.A.
Problemabfälle	0,6	k.A.	0,2	1,4	0,5	0,02	k.A.	k.A.
Sonst. Trockene Wertst. 2)	k.A.	k.A.	0,2	1,8	0,0	k.A.	0,1	k.A.
Sonstiges	70,3	74,5	78,4	75,4	64,6	61,7	70,5	69,6
Kontrollsumme	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

1) Restmüllzusammensetzung vor Systemumstellung
2) Enthält Leder und Kork sowie Gummi, falls nicht separat ausgewiesen
3) Stoffgruppe enthält zusätzlich Leder und Gummi
4) Quelle: Panning

Die Min- / Max-Werte sind farbig hinterlegt.

Sowohl im Abgleich der eigenen Erhebungen als auch in dem zu Literaturdaten zeigt sich, dass überwiegend nur geringe Differenzen bezüglich der Anteile der hier relevanten Stoffgruppen festzustellen sind. Dies gilt unabhängig von erfassten Wertstoffmengen sowie im Einzelnen sehr unterschiedlichem Restabfallaufkommen. Hohe Bandbreiten sind insbesondere bei PPK zu verzeichnen.

Die in Tabelle 4.5 ausgewiesenen Daten weisen eine deutlich unterschiedliche Datenbasis auf. Während die Daten in den Spalten 1 - 3 der Tabelle 4.4 (EdDE-Dokumentation, Kern 2001, LFU Bayern) auf einer breiten Datenbasis beruhen (mehrere Analysen in verschiedenen Gebieten), handelt es sich bei den Daten aus den Spalten 4 - 8 um regionalspezifische Analysen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Daten z. T. aus älteren Analysen stammen. Mittelwerte können daher nur als Orientierung verstanden werden. Für eine überschlägige Abschätzung eines mittleren Wertstoffpotenzials aus Restmüll der Stoffgruppen Metalle, Kunststoffe, Holz sowie Textilien werden sie aber, geringfügig modifiziert, als hinreichend angesehen.

Da wie eingangs erwähnt nicht alle genannten Untersuchungen über eine vergleichbare Tiefe in der Differenzierung verfügen, berücksichtigen die Bandbreiten sowie die daraus abgeleiteten Mittelwerte (arithmetisches Mittel aus allen für die jeweilige

Stoffgruppe verfügbaren Daten) nur explizit ausgewiesene Daten. Ergänzend wurden Ergebnisse aus unveröffentlichten Restabfallanalysen (HTP 2010) in den Abgleich einbezogen.

Die Gehalte der Stoffgruppe **Metalle** weisen insgesamt eine Bandbreite von 2,7 - 4,2 % auf. Die differenzierte Betrachtung der Gehalte der **FE- und NE-Metalle** ergab Bandbreiten von 1,3 - 3,7 % für FE-Metalle sowie von 0,7 - 1,7 % für NE-Metalle. Die Mittelwerte lassen sich auf 2,3 % (FE-Metalle) bzw. 1,1 % (NE-Metalle) beziffern. Bezüglich der Differenzierung nach VP und StNVP wird auf Tabelle 4.6 verwiesen.

Die Anteile der Stoffgruppe **Kunststoffe** weisen eine Bandbreite von 5,8 - 10,0 % auf. Der Mittelwert lässt sich auf 8,0 % beziffern. Soweit Differenzierungen nach VP und StNVP-Anteilen vorgenommen wurden, sind diese der Tabelle 4.6 zu entnehmen. Wie schon bei der Stoffgruppe Metalle ist festzustellen, dass der überwiegende Anteil noch im Restabfall enthaltener Wertstoffe durch VP repräsentiert wird.

Tabelle 4.6 Relative Anteile von Verpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen bezogen auf die im Restmüll enthaltenen Wertstoffanteile für die Stoffgruppen Metalle und Kunststoffe

Datenquelle	Metalle		Kunststoffe	
	VP [%]	StNVP [%]	VP [%]	StNVP [%]
Leipzig	64	36	49	51
Berlin	62	38	58	42
Gera	49	51	65	35
N.N.	64	36	82	18
LFU Bayern	82	18	61	39
Landkreis Stendal	42	58	68	32
Magdeburg	83	17	85	15

Die Stoffgruppe **Flüssigkeitskarton (FKN)** ist zu durchschnittlich 0,6 % im Restabfall enthalten.

Die Stoffgruppe **Holz** ist in allen einschlägigen Untersuchungen näherungsweise identisch abgegrenzt. Die Anteile bewegen sich in einer Bandbreite von 0,9 - 3,2 %, wobei der Maximalwert nur bei einer Einzelanalyse (Gera) auftritt. Ohne Berücksichtigung des genannten Wertes beträgt die Bandbreite 0,9 - 2,4 % bei einem Mittelwert von 1,4 %.

Bei der Bewertung der Fremdergebnisse zur Stoffgruppe **Textilien** bestehen partiell Unsicherheiten bezüglich einer eventuellen Einbeziehung von Schuhen. Insgesamt ist

hier eine Bandbreite von 2,6 - 7,1 % zu verzeichnen. Wie auch bei der Stoffgruppe Holz weicht der für die Stadt Gera ermittelte Wert deutlich von den Vergleichswerten ab. Ohne Berücksichtigung des genannten Wertes beträgt die Bandbreite 2,6 – 5,8 %. Der Mittelwert lässt sich auf 3,9 % beziffern. Der Anteil **Schuhe** wurde nur in Einzelfällen separat ausgewiesen. Hierfür beträgt die Bandbreite 0,5 - 1 %.

Für **Elektroaltgeräte** wurden Werte zwischen 0,3 % und 1,7 % ermittelt. Der Minimalwert der Analysen resultiert aus der Untersuchung in Bayern. Hier sind eventuell Besonderheiten wegen der hohen Verbreitung und Akzeptanz von Bringsystemen zu berücksichtigen. Auch aufgrund der bereits beschriebenen Unsicherheiten bezüglich der Zuweisung von Elektroaltgeräten in Stoffgruppenkatalogen wurde hier der Mittelwert aus den beiden umfänglich begleiteten Projekten in Leipzig und Berlin in Höhe von 1,24 % angesetzt.

Die Bandbreite der Anteile der Stoffgruppe **Batterien** beträgt < 0,1 % - 0,5 %, wobei höhere Werte aus älteren Untersuchungen stammen. In jüngeren Analysen wurden Maximalwerte von 0,1 % festgestellt.

Für die Stoffgruppe **Gummi** lagen vergleichsweise wenige Analyseergebnisse vor. Bei einem Maximalwert von 0,4 % lässt sich der Mittelwert auf 0,2 % beziffern.

Die summarische Betrachtung **sonstiger trockener Wertstoffe (Kork, Leder)** ergab eine Bandbreite von 0,0 - 1,8 %, wobei auch hier Unsicherheiten bezüglich der Zuordnung von Schuhen bestehen.

Die oben abgeleiteten Abschätzungen zu Anteilen einzelner Stoffgruppen im Restabfall wurden zur Frachtenberechnung auf eine mittlere Restabfallmenge von 173,6 kg/E*a[7] bezogen. Zur Differenzierung nach VP und StNVP sowie zur Unterdifferenzierung der Kunststoffe nach verwertungsspezifischen Gesichtspunkten wurde aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und Einheitlichkeit der Abgrenzungskriterien nur auf eigene Ergebnisse zurückgegriffen.

---

[7] Statistisches Bundesamt 2010/a, Abfallbilanz 2008 (endgültig), bezogen auf Restabfall aus Umleerverfahren

4.4.3 Grundlagen des Referenzmodells

Aus den in der Tabelle 4.4 ausgewiesenen LVP-Frachten sowie aus der geführten Diskussion hinsichtlich der Restabfallzusammensetzung ergibt sich das nachstehend ausgewiesene Referenzmodell M_0 mit seinem Potenzial aus Restabfall und getrennt erfassten LVP-Mengen.

Tabelle 4.7 Grundlage des Referenzmodells M_0 aus Restabfalltonne und LVP-Tonne mit Darstellung des Wertstoffpotenzials aus Restabfall und getrennt erfassten LVP-Mengen

Stoffgruppe		Mengen im Restabfall	Mengen im LVP	Mengen in Restabfall und LVP	Anteile in Restabfall und LVP
		1	2	3	4
Weißblech	Verpackung (LVP)	2,38 kg/E*a	3,06 kg/E*a	5,44 kg/E*a	2,7 %
	StNVP	1,58 kg/E*a	0,32 kg/E*a	1,90 kg/E*a	0,9 %
Aluminium	Verpackung (LVP)	1,07 kg/E*a	0,99 kg/E*a	2,06 kg/E*a	1,0 %
	StNVP	0,85 kg/E*a	0,33 kg/E*a	1,18 kg/E*a	0,6 %
Folien > DIN A 4	Verpackung (LVP)	0,96 kg/E*a	1,08 kg/E*a	2,03 kg/E*a	1,0 %
	StNVP	1,61 kg/E*a	1,06 kg/E*a	2,67 kg/E*a	1,3 %
Standardverpa-ckungspolymere	Verpackung (LVP)	3,53 kg/E*a	5,99 kg/E*a	9,52 kg/E*a	4,7 %
	StNVP	1,46 kg/E*a	0,66 kg/E*a	2,13 kg/E*a	1,1 %
Sonstige Kunststoffe	Verpackung (LVP)	3,20 kg/E*a	3,90 kg/E*a	7,10 kg/E*a	3,5 %
	StNVP	3,18 kg/E*a	1,05 kg/E*a	4,23 kg/E*a	2,1 %
FKN	Verpackung (LVP)	1,01 kg/E*a	2,06 kg/E*a	3,08 kg/E*a	1,5 %
PPK	Verpackung (z.T. LVP)[1]	18,58 kg/E*a	0,90 kg/E*a	0,90 kg/E*a	10,3 %
	NStNVP		1,20 kg/E*a	19,75 kg/E*a	
Holz	Verpackung	0,16 kg/E*a	0,00 kg/E*a	0,16 kg/E*a	0,1 %
	NStNVP	2,33 kg/E*a	0,04 kg/E*a	2,36 kg/E*a	1,2 %
Textilien	NStNVP	6,78 kg/E*a	0,09 kg/E*a	6,87 kg/E*a	3,4 %
Gummi	NStNVP	0,35 kg/E*a	0,00 kg/E*a	0,35 kg/E*a	0,2 %
Elektrokleingeräte	NStNVP	2,15 kg/E*a	0,08 kg/E*a	2,23 kg/E*a	1,1 %
Batterien	NStNVP	0,10 kg/E*a	0,00 kg/E*a	0,10 kg/E*a	0,1 %
Rest	NStNVP	122,32 kg/E*a	4,93 kg/E*a	127,25 kg/E*a	63,2 %
Summe[2]		**173,6 kg/E*a**	**27,70 kg/E*a**	**201,3 kg/E*a**	**100%**
Zusammenfassung					
Summe LVP[2]	VP (LVP)	12,26 kg/E*a	18,1 kg/E*a[3]	30,36 kg/E*a[3]	
Summe StNVP[2]	StNVP	8,68 kg/E*a	3,42 kg/E*a	12,11 kg/E*a	
Summe NStNVP[2] (nur Holz, Textilien, Gummi)	NStNVP	9,46 kg/E*a	0,13 kg/E*a	9,58 kg/E*a	
Elektrokleingeräte	NStNVP	2,15 kg/E*a	0,08 kg/E*a	2,23 kg/E*a	
Batterien	NStNVP	0,10 kg/E*a	0,00 kg/E*a	0,10 kg/E*a	

1) In den Restabfallanalysen waren Verpackungen aus PPK/PPK-Verbunden nicht separat ausgewiesen. Daher ist diese Angabe eine grobe Schätzung.

2) Geringe Abweichungen in der Summe ergeben sich durch Rundungen.

3) Inkl. Verpackungen aus PPK/PPK-Verbunden.

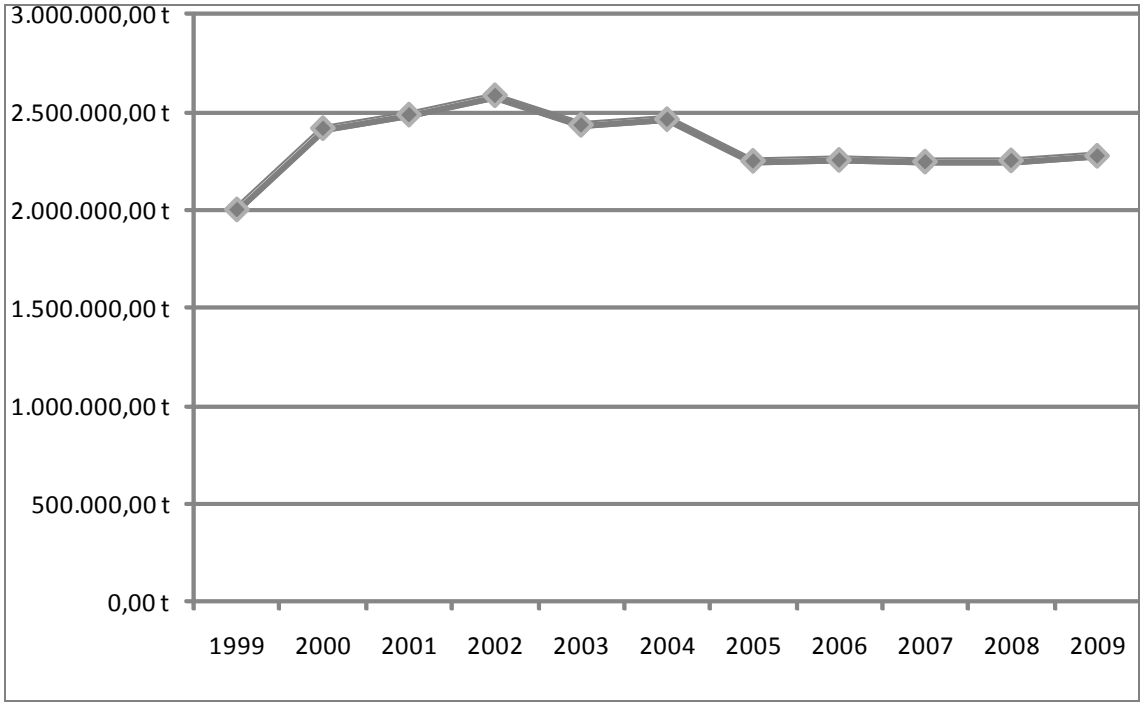
4.5 Abschöpfbare Mengen bei Einführung einer Wertstofftonne

Zur Abschätzung der tatsächlich abschöpfbaren Wertstoffe im Zuge einer Getrennterfassung sind drei Faktoren zu berücksichtigen.

1. Zunächst ist anhand der immer noch im Restabfall zu verzeichnenden Verpackungsanteile in signifikanter Größenordnung festzustellen, dass nicht unterstellt werden kann, dass die Potenziale durch getrennte Erfassung gänzlich abschöpfbar sind. Es stellt sich die Frage, welche Erfassungsquoten für ein gut etabliertes Wertstofferfassungssystem unterstellt werden können.
2. Die Ausführungen in Kapitel 3 haben ferner verdeutlicht, dass die Erfassungsquoten für die verschiedenen Wertstoffarten nicht einheitlich sind.
3. Evident ist darüber hinaus, dass absolute Ergebnisse aus einzelnen Gebietskörperschaften sich nicht verallgemeinern lassen, da sie sich als Ergebnis einer Vielzahl sozioökonomischer und abfallwirtschaftlicher Einflussfaktoren einstellen.

Die erstgenannte Fragestellung soll anhand ausgewählter Rahmendaten zur Entwicklung des Mengenaufkommens der LVP-Erfassung näherungsweise quantifiziert werden. Abbildung 4.4 veranschaulicht die bundesweite Mengenentwicklung der vergangenen zehn Jahre.

Abbildung 4.4 Entwicklung der LVP-Sammelmenge in Deutschland von 1999 bis 2009[8]



Erkennbar ist noch der Endbereich des kontinuierlichen Anstiegs der Sammelmengen seit Systemeinführung 1992. In 2002 stellt sich ein Maximalwert bei über 2,5 Mio. t ein. Der nachfolgend zu verzeichnende signifikante Rückgang lässt sich durch die Einführung und Umsetzung der Pflichtbepfandung von Einweggetränkeverpackungen erklären. Seit 2005 bewegt sich die LVP-Erfassungsmenge mit geringer Schwankungsbreite im Bereich von 2,25 Mio. t/a (ca. 28 kg/E*a). Es ist davon auszugehen, dass sich hierunter die realistische Grenze der über getrennte Erfassung erzielbaren Wertstoffabschöpfung abbildet.

Um den Grenzbereich weitergehend zu quantifizieren, eignet sich aus mehreren Gründen insbesondere die Stoffgruppe Flüssigkeitskartons als Leitparameter. Zum einen existieren hierzu sowohl gesichert abgrenzbare Daten zum jährlichen Verbrauch; zum anderen sind, da sie eine eigenständige Sortierfraktion bilden, auch über die jährlich aus dem Gemisch aussortierten Mengen belastbare Daten vorhanden. Anders als bei anderen Sortierfraktionen ist hierbei auch keine wesentliche Vermischung mit anderen Komponenten wie z. B. stoffgleichen Nichtverpackungen gegeben.

[8] Auswertungen HTP/cyclos 2010

Dennoch bilden die aussortierten Mengen auch für Flüssigkeitskartons nicht 1 : 1 die Werte der Erfassungssituation ab. Zu berücksichtigen sind in einem Korrekturfaktor Reinheit der Sortierfraktion, Höhe der Sortierverluste sowie systematische Verzerrungen zwischen Abfallstatistiken und Verbrauchsstatistiken. Die beiden erstgenannten Größen lassen sich aus den Anforderungen an eine vertragskonforme Sortierung ableiten, die eine Reinheit von 90 % und ein Ausbringen von 80 % vorschreiben. Systematische Verzerrungen zwischen abfallstatistischen Zahlen und Verbrauchsstatistiken resultieren daraus, dass durch Oberflächenverunreinigung und Restinhalte abfallseitig höhere Massen auftreten. Für Flüssigkeitskartons wird die Abweichung mit 5 % bewertet.

Ausgehend von der aussortierten Menge ergibt zum Abgleich mit der Verbrauchsmenge (gemeint ist hier die in Verkehr gebrachte Menge) entsprechend ein Korrekturfaktor.

$$\text{Korrekturfaktor} = \frac{\text{Produktreinheit x (1 – Restinhalt)}}{\text{Ausbringung}} = \frac{0{,}9 \times 0{,}95}{0{,}8} \approx 1{,}07$$

In Tabelle 4.8 sind Verbrauchszahlen und aussortierte Mengen für die Jahre 2006 - 2008 zusammengestellt und zur Ermittlung der Erfassungsquote wie oben beschrieben bereinigt. Sehr konstant stellt sich ein Wert von etwa 70 % ein, der für die weitere Hochrechnung als Maßstab zugrunde gelegt wird.

Tabelle 4.8 Abschätzung der Erfassungsquote für den Leitparameter „Flüssigkeitskartons“

	Jahr			Mittelwert
	2006	2007	2008	
Verbrauch Flüssigkeitskartons [1)]	235.200 t/a	219.500 t/a	213.600 t/a	222.767 t/a
Verwertungsmenge [2)]	156.100 t/a	146.500 t/a	144.900 t/a	149,167 t/a
Rechnerische Erfassungsmenge bei einem Korrekturfaktor von 106,875 % (bezogen auf Verwertungsmenge) [3)]	166.832 t/a	156.572 t/a	154.862 t/a	159.422 t/a
Rechnerische Erfassungsquote	70,9 %	71,3 %	72,5 %	71,6 %

[1)] und [2)] BMU 2010 (a)

[3)] Ermittlung des Korrekturfaktors: rechnerische Erfassungsmenge = Verwertungsmenge * Produktreinheit * (1-Restinhalt) / Ausbringung

Die für die Pilotgebiete zur Wertstofftonne ermittelten Erfassungsquoten sind, wie bereits ausgeführt, im Bundesmittel als unterdurchschnittlich einzuordnen. Die weitere Hochrechnung der aus diesen Versuchen ermittelten Daten erfolgt daher nicht auf Basis der absoluten Erfassungsmengen oder Erfassungsquoten in diesen Gebieten. Es wird lediglich unterstellt, dass sich die Erfassungsquoten bundesweit relativ so verändern werden, wie sich dies in den praktischen Untersuchungsergebnissen in Versuchsgebieten abbildet.

Auswertungstechnisch wurde so verfahren, dass die für die Pilotversuche in Leipzig und Berlin jeweils ermittelten spezifischen Erfassungsquoten nach Systemumstellung durch Bezugsetzung auf einen der Einzelwerte normiert wurden. Als Bezugswert (100 %) diente die jeweilige Erfassungsquote für Flüssigkeitskartons. Durch Mittelwertbildung ergeben sich die in Tabelle 4.9 Spalte 2 ausgewiesenen Durchschnittswerte. (Ein Wert von 90 % für Weißblech VP bedeutet beispielsweise, dass die Erfassungsquote für Weißblech im Mittel bei 90 % der Erfassungsquote für Flüssigkeitskartons liegt.) Diese Schlüsselung wurde über den als bundesweiten Mittelwert der Erfassungsquote für FKN plausibilisierten Wert von 70 % linear umgerechnet (Spalte 3). Für NStNVP-Stoffgruppen liegen abgesehen von Elektroaltgeräten keine Messwerte vor, da diese in den bisherigen Wertstofftonnenprojekten nicht oder nur eingeschränkt im Zuweisungskatalog berücksichtigt wurden. Für die Abschätzung wurde unterstellt, dass sich zu Elektroaltgeräten vergleichbare Erfassungsquoten einstellen werden.

Tabelle 4.9 Abschätzung spezifischer abschöpfbarer Wertstoffmengen bezogen auf das Potenzial

Stoffgruppe		Wertstoffpotenzial = Summe aus Restmüll und LVP	Relative Erfassungs-quoten nach Systemum-stellung auf Basis des Leitparame-ters FKN = 100 %	Erfassungs-quoten auf Basis des Leitparame-ters FKN = 70 %	Erwartete Erfassungs-quoten (gerundet)	Abschöpfbare Mengen
		1	2	3	4	5
Weißblech	VP	5,4 kg/E*a	90 %	63 %	65 %	3,5 kg/E*a
	StNVP	1,9 kg/E*a	95 %	67 %	70 %	1,3 kg/E*a
Aluminium	VP	2,1 kg/E*a	77 %	54 %	55 %	1,1 kg/E*a
	StNVP	1,2 kg/E*a	66 %	46 %	50 %	0,6 kg/E*a
Folien > Din A4	VP	2,0 kg/E*a	87 %	61 %	60 %	1,2 kg/E*a
	StNVP	2,7 kg/E*a	77 %	54 %	55 %	1,5 kg/E*a
Standardverpa-ckungs-polymere	VP	9,5 kg/E*a	95 %	66 %	65 %	6,2 kg/E*a
	StNVP	2,1 kg/E*a	75 %	52 %	55 %	1,2 kg/E*a
Sonst. Kunststoffe	VP	7,1 kg/E*a	83 %	58 %	60 %	4,3 kg/E*a
	StNVP	4,2 kg/E*a	86 %	60 %	60 %	2,5 kg/E*a
FKN	VP	3,1 kg/E*a	100 %	70 %	70 %	2,2 kg/E*a
Holz	VP	0,2 kg/E*a			55 %	0,1 kg/E*a
	NStNVP	2,4 kg/E*a			55 %	1,3 kg/E*a
Textilien	NStNVP	6,9 kg/E*a			55 %	3,8 kg/E*a
Gummi	NStNVP	0,3 kg/E*a			55 %	0,2 kg/E*a
Elektrokleingeräte	NStNVP	2,2 kg/E*a	76 %	53 %	55 %	1,2 kg/E*a
Batterien	NStNVP	0,1 kg/E*a			55 %	0,05 kg/E*a
Summe		**53,4 kg/E*a**				**32.2 kg/E*a**
Zusammenfassung LVP, StNVP und NStNVP						
Summe LVP[1)]	VP (LVP)	**29,3 kg/E*a** (30,2 kg/E*a inkl. 0,9 kg/E*a PPK/PPK-Verbunde**)**				**18,5 kg/E*a** (19,4 kg/E*a inkl. 0,9 kg/E*a PPK/PPK-Verbunde**)**
Summe StNVP [1)]	StNVP	**12,1 kg/E*a**				**7,1 kg/E*a**
Summe NStNVP (nur Holz, Textili-en, Gummi)[1)]	NStNVP	**9,6 kg/E*a**				**5,3 kg/E*a**
Elektrokleingeräte	NStNVP	2,2 kg/E*a				1,2 kg/E*a
Batterien	NStNVP	0,1 kg/E*a				0,05 kg/E*a

[1)] Geringe Abweichungen in der Summe ergeben sich durch Rundungen

Erläuterungen zur Tabelle 4.9:

Spalte Nr. 1: In Spalte 1 ist das erwartete „Wertstoffpotenzial“ enthalten. Dieses setzt sich zusammen aus den Mengen, die im Restmüll und im LVP enthalten sind. Mengen, die über andere Sammelsysteme erfasst werden, sind in den hier aufgeführten Mengen nicht enthalten. Die Mengen sind identisch mit den Werten aus Spalte 3 in Tabelle 4.7. Da in Tabelle 4.9 das Potenzial für eine erweiterte Wertstofftonne aufgeführt werden soll und PPK nicht zu berücksichtigen ist, sind in dieser Tabelle keine PPK-Mengen aufgeführt.

Spalte Nr. 2: In Spalte 2 sind die Durchschnittswerte der erwarteten relativen Erfassungsquoten nach Systemumstellung ausgewiesen. Diese wurden, wie oben beschrieben über Ableitungen vom Bezugswert der Flüssigkeitskartons ermittelt.

Spalte Nr. 3: Die Schlüsselung (aus Spalte 2) wurde über den für FKN plausibilisierten Wert von 70 % linear umgerechnet: Werte in Spalte 3 = 0,7 * Werte aus Spalte 2.

Spalte Nr. 4: Hier sind die in Spalte 3 aufgeführten errechneten erwarteten Erfassungsquoten gerundet aufgeführt. Grundsätzlich wurden die Anteile aufgerundet, da im Trend noch eine leichte Steigerung erwartet wird. Eine Ausnahme bilden die Folienverpackungen und Standardpolymerverpackungen. Für die Erfassungsquoten dieser beiden Fraktionen wird durch die Einführung einer Wertstofftonne kein zusätzlicher Steigerungstrend erwartet, weil heute schon relevante StNVP in der LVP-Sammelmenge enthalten sind.

Spalte Nr. 5: Die in Spalte Nr. 4 gerundeten, erwarteten Erfassungsquoten beziehen sich auf das Wertstoffpotenzial, welches sich als Summe der Mengen im Restmüll und LVP zusammensetzt (Spalte Nr. 1). In Spalte 5 sind die Werte aus diesem Bezug aufgeführt. Werte in Spalte 5 = Werte aus Spalte 1 * Werte aus Spalte 4.

In der nachfolgenden Tabelle 4.10 wird die aus Tabelle 4.9 aufgeführte „abschöpfbare Menge“ der Wertstoffmenge gegenüber gestellt, die heute bereits im LVP-Sammelgemisch enthalten ist.

Tabelle 4.10 Übersicht über erwartete Zusatzmengen gegenüber Status quo

Stoffgruppe		Wertstoffe im LVP-Sammelgemisch Status quo	Abschöpf-bare Mengen	Zusatzmen-gen gegenüber Status quo	Bemerkungen
		1	2	3	4
Weißblech	VP	3,06 kg/E*a	3,5 kg/E*a	0,5 kg/E*a	
	StNVP	0,32 kg/E*a	1,3 kg/E*a	1,0 kg/E*a	zusätzliche Anteile aus heutiger Sperrmüllsammlung möglich
Aluminium	VP	0,99 kg/E*a	1,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a	
	StNVP	0,33 kg/E*a	0,6 kg/E*a	0,3 kg/E*a	zusätzliche Anteile aus heutiger Sperrmüllsammlung möglich
Folien > Din A4	VP	1,08 kg/E*a	1,2 kg/E*a	0,1 kg/E*a	
	StNVP	1,06 kg/E*a	1,5 kg/E*a	0,4 kg/E*a	
Standardverpackungs-polymere	VP	5,99 kg/E*a	6,2 kg/E*a	0,2 kg/E*a	
	StNVP	0,66 kg/E*a	1,2 kg/E*a	0,5 kg/E*a	zusätzliche Anteile aus heutiger Sperrmüllsammlung möglich
Sonst. Kunststoffe	VP	3,90 kg/E*a	4,3 kg/E*a	0,4 kg/E*a	
	StNVP	1,05 kg/E*a	2,5 kg/E*a	1,5 kg/E*a	zusätzliche Anteile aus heutiger Sperrmüllsammlung möglich
FKN	VP	2,06 kg/E*a	2,2 kg/E*a	0,1 kg/E*a	
PPK/PPK-Verbunde	VP	0,9 kg/E*a	0,9 kg/E*a	0 kg/E*a	
Holz	VP	0,00 kg/E*a	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a	
	NStNVP	0,04 kg/E*a	1,3 kg/E*a	1,3 kg/E*a	zusätzliche Anteile aus heutiger Sperrmüllsammlung erwartet
Textilien	NStNVP	0,09 kg/E*a	3,8 kg/E*a	3,7 kg/E*a	zusätzliche Anteile aus heutigen caritativen und gewerblichen Sammlungen erwartet
Gummi	NStNVP	0,00 kg/E*a	0,2 kg/E*a	0,2 kg/E*a	
Elektrokleingeräte	NStNVP	0,08 kg/E*a	1,2 kg/E*a	1,2 kg/E*a	zusätzliche Anteil aus heutiger getrennter Erfassung des örE erwartet
Batterien	NStNVP	0,00 kg/E*a	0,05 kg/E*a	0,05 kg/E*a	zusätzliche Anteile aus heutiger getrennter Erfassung durch Rücknahmesystem erwartet
Summe		**21,61 kg/E*a**	**33,1 kg/E*a**	**11,7** kg/E*a	
Davon:					
Summe LVP	VP (LVP)	18,10 kg/E*a (inkl. 0,9 kg/E*a PPK/PPK-Verbunde)	19,4 kg/E*a (inkl. 0,9 kg/E*a PPK/PPK-Verbunde	1,4 kg/E*a	
Summe StNVP	StNVP	3,42 kg/E*a	7,1 kg/E*a	3,7 kg/E*a	
Holz, Textilien, Gummi, Elektro-kleingeräte und Batterien	NStNVP	0,21 kg/E*a	6,5 kg/E*a	6,5 kg/E*a	

Vergleichswerte:

Wie oben ausgeführt, wurden die abschöpfbaren Mengen in Tabelle 4.9 Tabelle 4.10 aus unterschiedlichen Parametern abgeleitet, die die Untersuchungsergebnisse aus den Regionen beinhalten, in denen längerfristige, umfangreiche Modellprojekte durchgeführt werden (Berlin und Leipzig). Ergebnisse aus Untersuchungen aus anderen Regionen sind nicht direkt übertragbar, da Sammelsysteme und Untersuchungsgegenstand sehr unterschiedlich sind. Im Folgenden werden Untersuchungsergebnisse aus anderen Projekten mit den Ergebnissen aus Tabelle 4.9 verglichen (siehe hierzu auch Tabelle 3.1).

Diese Vergleichswerte werden lediglich zur Information aufgeführt und können aufgrund der unterschiedlichen Ansätze nicht als eine zusätzliche Verifizierung verstanden werden. Sie zeigen aber auf, dass die Ergebnisse sehr stark von den Zuweisungskatalogen, den Untersuchungsmethoden sowie den regionalen Gegebenheiten abhängig sind.

Tabelle 4.11 Vergleich der berechneten abschöpfbaren Menge mit Ergebnissen aus der Wertstofftonne (PPK + LVP + StNVP + Holz) im Landkreis Karlsruhe

	Grüne Tonne im Landkreis Karlsruhe [1)]	Abschöpfbare Menge (Tabelle 4.9)
Weißblech (Verpackungen)	2,92 kg/E*a	3,5 kg/E*a
Aluminium (Verpackungen)	1,08 kg/E*a	1,1 kg/E*a
FKN (Verpackungen)	1,05 kg/E*a	2,2 kg/E*a
Kunststoffe gesamt (VP + StNVP) [2)]	9,92 kg/E*a	16,9 kg/E*a
Metalle (StNVP) [3)]	2,05 kg/E*a	1,9 kg/E*a
Holz (NStNVP)	0,92 kg/E*a	1,3 kg/E*a
Elektrokleingeräte (NStNVP)	0,68 kg/E*a	1,2 kg/E*a
Batterien (NStNVP)	0,13 kg/E*a	0,05 kg/E*a

1) „Ergebnisse der Sortieranalyse des Inputmaterials „Grüne Tonne“ aus dem Landkreis Karlsruhe“ durch Hagemann Umwelttechnik GmbH (2010). Die Prozentangaben wurden auf Basis der Erfassungsmengen aus 2009 in kg/E*a umgerechnet.

2) Da in der Untersuchung die Abgrenzung zwischen LVP und StNVP nicht eindeutig ist (z. B. in der Folienfraktion) werden die Kunststoffe hier summarisch ausgewiesen.

3) In der Untersuchung wurde nicht zwischen FE- und NE-Metallen unterschieden.

Tabelle 4.12 Vergleich der berechneten abschöpfbaren Menge mit Ergebnissen aus Kassel (trockene Hausmülltonne)

	Trockene Wertstofftonne in Kassel[1)]	Abschöpfbare Menge (Tabelle 4.9)
FE- und NE- Metalle (VP und NVP)**	5 kg/E*a	6,5 kg/E*a
Kunststoffe (VP und NVP) [2)]	17 kg/E*a	16,9 kg/E*a
Elektrokleingeräte	3,2 kg/E*a	1,2 kg/E*a
Textilien	1,6 kg/E*a	1,2 kg/E*a

1) Umrechnungen aus Abb. 13 in „Erfahrungen mit dem System nasse und trockene Tonne in Kassel“, Prof. Arnd Urban, Stephan Löhle, Gerhard Halm, Stefan Stremme (September 2010)

2) In der Studie von Prof. Urban u.a. wurde bei Kunststoffen und Metallen nicht zwischen Verpackungen und Nichtverpackungen differenziert.

Tabelle 4.13 Vergleich der berechneten abschöpfbaren Menge mit Ergebnissen aus Hamburg (LVP + StNVP + Holz + Elektrokleingeräte)

	Wertstofftonne im Versuchsgebiet Hamburg Wilstorf (26.04.2008)[1)]	Wertstofftonne im Versuchsgebiet Hamburg Langenhorn (01.03.2008)[1)]	Abschöpfbare Menge (Tabelle 4.9)
Weißblech (VP+ StNVP)	1,51 kg/E*a	2,96 kg/E*a	4,8 kg/E*a
Aluminium (VP+ StNVP)	0,4 kg/E*a	0,37 kg/E*a	1,7 kg/E*a
Folien > DIN A4 (VP+ StNVP)	0,72 kg/E*a	0,35 kg/E*a	2,7 kg/E*a
Standardverpackungspolymere (VP+ StNVP)	1,33 kg/E*a	1,14 kg/E*a	7,4 kg/E*a
Sonst. Kunststoffe (VP+ StNVP)	2,96 kg/E*a	5,11 kg/E*a	6,8 kg/E*a
FKN	1,25 kg/E*a	0,98 kg/E*a	2,2 kg/E*a
Elektrokleingeräte	0,12 kg/E*a	0,0 kg/E*a	1,2 kg/E*a

1) Die Werte aus den Versuchsgebieten sind nur ganz grob mit den abschöpfbaren Mengen vergleichbar, da sie aus der Massenbilanz aus dem Outputstrom der Sortieranlage ermittelt wurden.

Wie oben erwähnt sind die Werte zu den einzelnen Materialfraktionen aus den Modellgebieten Karlsruhe, Kasse und Hamburg nicht mit der Berechnung der abschöpfbaren Menge direkt vergleichbar, da die Zuweisungskataloge sehr unterschiedlich waren und die Analysemethoden voneinander abwichen. Die Ergebnisse stehen nicht im Widerspruch zu den kalkulierten abschöpfbaren Mengen.

5. Spezifische Aspekte einer potentiellen Zuweisung einzelner Wertstoffgruppen zur Wertstofftonne

Die Herleitung einer Idealzusammensetzung der Wertstofftonne bedarf einer Abschätzung und Bewertung der Auswirkungen der gemeinsamen Sammlung von LVP und den einzelnen unterschiedlichen NVP-Wertstoffgruppen. Die Kriterien zur Analyse und Bewertung wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Die einzelnen Bewertungskriterien lassen sich nur unzureichend auf einer einheitlichen Betrachtungsebene erörtern. Daher wurden eine Schichtung der Kriterien und ein iteratives Vorgehen gewählt.

In Kapitel 5 erfolgt zunächst eine Diskussion und Bewertung der Kriterien, die unter Fokussierung auf die jeweilige Materialgruppe spezifisch abgebildet werden können (wie z.B. Verwertbarkeit, ökonomische Werthaltigkeit).

Ob eine Miterfassung bestimmter Materialgruppen in einer einheitlichen Wertstofftonne vorteilhaft ist, hängt darüber hinaus aber auch von Auswirkungen ab, die sich nur auf Grundlage einer Modell- oder Szenarienformulierung gesamthaft abbilden lassen (z.B. Kapazitätsbedarf, Sortierung, Kostenveränderungen). Hierbei werden nur noch Konstellationen einer Wertstofftonne unter Einbeziehung solcher Materialgruppen diskutiert, deren Berücksichtigung nach Würdigung der materialgruppenbezogenen Bewertungskriterien sinnvoll erscheint.

Bewertungskriterien und deren Zuordnung sind Tabelle 5.1 zu entnehmen.

Die Diskussion und Bewertung der ersten Kriteriengruppe erfolgt für einzelne Wertstoffgruppen unter Berücksichtigung der Abgrenzungsnotwendigkeit unterschiedlicher Verwertungspfade in folgende Differenzierung:

- FE-Metalle (Kapitel 5.1)
- NE-Metalle (Kapitel 5.2)
- Kunststofffolien (Kapitel 5.3)
- Standardverpackungspolymere (Kapitel 5.4)
- Sonstige Kunststoffe (Kapitel 5.5)
- Holz (Kapitel 5.6)
- Textilien(Kapitel 5.7)

- Gummi (Kapitel 5.8)
- Elektrokleingeräte (Kapitel 5.9)
- Batterien (Kapitel 5.10)

Im Kapitel 5.9 (Elektrokleingeräte) wird ergänzend eine modifizierte Erfassungsvariante „Sack im Behälter“ erörtert.

Tabelle 5.1 Übersicht über Kriterien zur Bewertung der Miterfassung bestimmter Materialien in einer einheitlichen Wertstofftonne

Materialgruppenbezogene Kriterien (Gruppe 1) = Kriterien, die auf Ebene der einzelnen Wertstoffe spezifisch zu diskutieren sind (→ siehe Kapitel 5)	**Modellbezogene Kriterien (Gruppe 2)** = Kriterien, die sich nur auf Modellebene abbilden und erörtern lassen (→ siehe Kapitel 6)
• Mengenrelevanz / Potenzial und abschöpfbare Menge • Selektivität der und Akzeptanz zur Getrennthaltung • Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten / Verwertungs-strukturen • Sortierbarkeit • Technische Umsetzbarkeit/ Sortierung (Sortierverhalten) • zusätzliche Sortierkosten • Verwertbarkeit/ verwertungstechnische Eigenschaften • Ökonomische Werthaltigkeit • Ökologische Vorteilhaftigkeit	• Erfasste Mengen, Kapazitätsbedarf Sortieranlagen • Wertstoffgewinnung (Sortieroutputfraktionen) • Änderungsbedarf Erfassung, Sammel-logistik • Änderungsbedarf Sortiertechnik • Auswirkungen auf Restabfallaufkom-men und Heizwert • Kosten: - Erfassungskosten - Sortierkosten - Verwertungserlöse - Gesamtkosten • Ökologische Auswirkungen

Eine genaue Erläuterung der materialgruppenbezogenen Kriterien (Kriterien der Gruppe 1) und der konkreten Bewertungsmaßstäbe erfolgt in Kapitel 5.11.

5.1 StNVP aus FE-Metallen

Definition

Die zur VP-Materialgruppe Weißblech „stoffgleichen“ NVP – im Weiteren: Eisenschrott - werden nach dem Kriterium Ferromagnetismus von anderen metallischen Abfällen abgegrenzt. Gusseisen und hochlegierte Stähle („Edelstahl“) sind nicht ferromagnetisch und werden daher wie NE-Metalle in Kapitel 5.2 erörtert. Post consumer Abfälle dieser Gruppe entstammen nahezu allen Sortimentsgruppen wie z.B. Eisenwaren (Beschläge, Schrauben etc.), Bürobedarf (Tacker, Locher), Haushaltsartikel (Wäscheständer, Eimer, Backofenbleche) sowie Wohnambiente und dem Spiel- und Freizeitbereich (Gartenmöbel, Fahrradteile etc.).

Mengenrelevanz, Potenzial und abschöpfbare Menge

Das Potenzial der StNVP aus FE-Metallen wird auf 1,9 kg/E*a abgeschätzt. Ca. 0,3 kg/E*a hiervon werden bereits aktuell über das LVP-Erfassungssystem erfasst.

Unter Ansatz einer durchschnittlichen Erfassungsquote von 70 % für den Fall einer (auch formalen) Zuweisung von FE-Metallen zur Wertstofftonne wird ein Anstieg der spezifischen Erfassungsmenge um ca. 1 kg/E*a auf ca. 1,3 kg/E*a erwartet (vgl. Tabelle 4.9 und Tabelle 4.10).

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten/ Verwertungsstrukturen

Neben den in Restabfall- und LVP-Erfassungsmenge enthaltenen Eisenschrotten sind solche auch Bestandteil des Sperrmülls (ca. 1 - 1,5 kg/E*a). Gewerbliche Sammelmengen – insbesondere in Zeiten hoher Schrottpreise – sowie Wertstoffhöfe ergänzen das Entsorgungsangebot. Im Falle einer Zuweisung von Eisenschrotten zur Wertstofftonne ist anzunehmen, dass Substitutionseffekte letztgenannter Getrennterfassungsalternativen zu verzeichnen sein werden. Mangels geeigneter Datengrundlage ist eine quantitative Abschätzung nicht möglich.

Eisenschrotte, die über den Restabfall erfasst werden, werden überwiegend einer stofflichen Verwertung zugeführt. Sie unterliegen in Restabfallbehandlungsprozessen keiner nennenswerten Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaf-

ten. Im Rahmen einer MBA lassen sie sich mit vergleichbaren Wirkungsgraden separieren wie aus der getrennten Wertstofferfassung. Mit dem heutigen Standardverfahren der Restaschenaufbereitung werden allerdings in MVAs mit lediglich ca. 60 % der Fe-Schrotte vergleichsweise niedrige Ausbringenswerte erzielt (Pretz 2008). Mit noch niedrigeren Ausbringungswerten rechnet IFEU (Ifeu 2005), die lediglich 50 % unterstellen, so dass der Restabfallpfad für Fe-Schrotte nicht als Äquivalent zur getrennten Erfassung gelten kann.

Akzeptanz zur Getrennthaltung

Aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen zur Wertstofftonne ist abzuleiten, dass die Zuweisung von Eisenschrotten zum Getrennterfassungssystem in hohem Maße vom Nutzer angenommen wird. Unter den StNVP waren hier in den Modellvorhaben die höchsten Zuwachsraten zu verzeichnen.

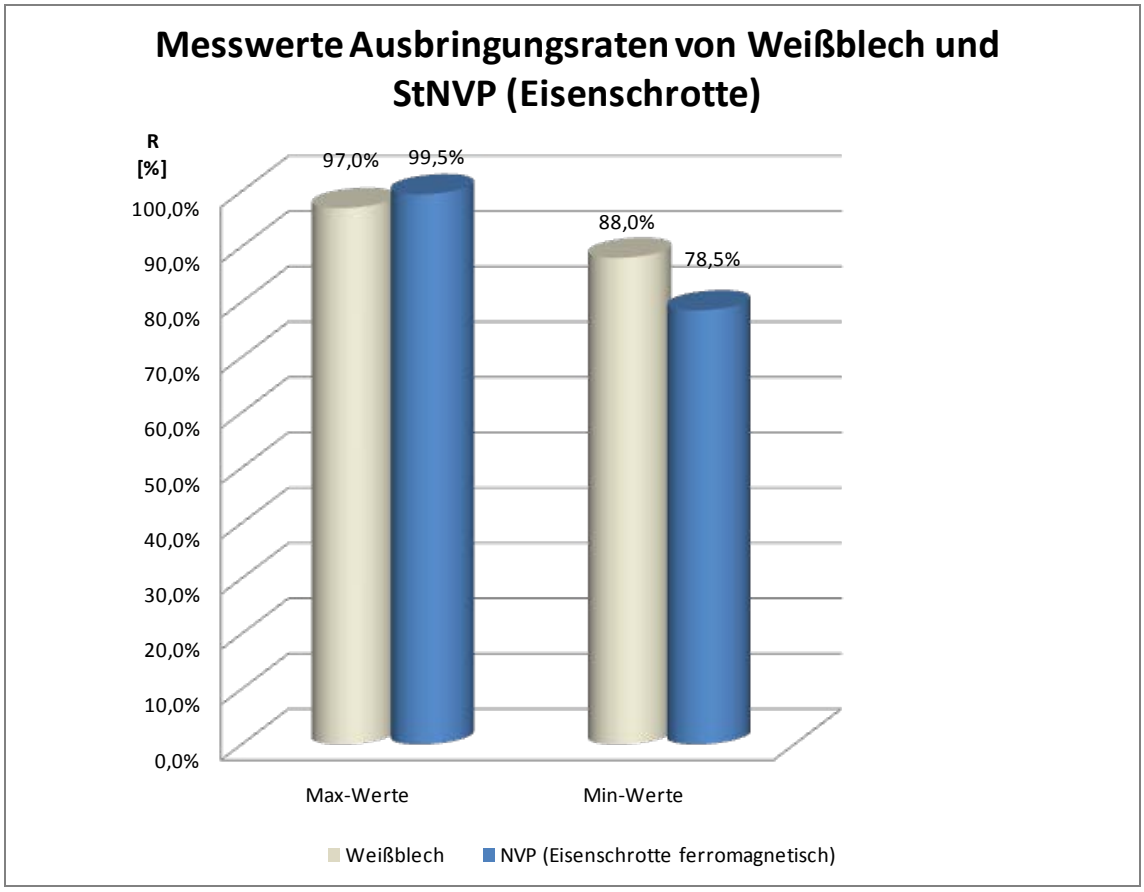
Sortierverhalten

Da NVP-Eisenschrotte bereits heute in nennenswerter Größenordnung im LVP-Sammelgemisch enthalten sind, lassen sich die sortiertechnischen Eigenschaften weitgehend deskriptiv charakterisieren.

Standardverfahren zur Aussortierung ferromagnetischer Komponenten in der LVP-Sortierung ist die Schwachfeldmagnetscheidung. Ausbringensraten von Überbandmagnetscheidern liegen bei geeigneter Ausführung jenseits von 95 %.

Im Gegensatz zur korrespondierenden Verpackungsmaterialgruppe „Weißblech“, die angesichts standardisierter Füllvolumina überwiegend im Siebschnitt < 220 mm enthalten ist, treten die StNVP in erheblichem Umfang (im Mittel etwa zu 50 %) im Grobkornstrom auf. Aus qualitativen Gründen werden Schrotte (VP und NVP) hieraus i. d. R. manuell aussortiert. Abbildung 5.1 zeigt Messergebnisse aus Bilanzierungen von vier unterschiedlichen LVP-Sortieranlagen. Ausgewiesen sind in Gegenüberstellung der VP- und StNVP-Ausbringensraten jeweils Minimal- und Maximalwert. Die oberen Werte liegen für beide Stoffgruppen nahe 100 %. Die etwas größere Bandbreite der Messwerte zum StNVP-Ausbringen erklärt sich durch die etwas unterschiedliche betriebliche Handhabung der manuellen Sortierung im Grobkornbereich.

Abbildung 5.1 Messwerte zu Ausbringensraten von Weißblech und StNVP (Eisenschrott) aus vier deutschen LVP-Sortieranlagen



Sortierbarkeit

Die Sortierbarkeit ist gemäß Abbildung 5.1 grundsätzlich in hohem Maße gegeben. Bei Einführung einer Wertstofftonne wird vorausgesetzt, dass quantitative Anforderungen ähnlich wie für Verpackungen auch für NVP im Zuge von Sortierverträgen zu formulieren sind. Technisch machbar sind für Fe-Schrotte Ausbringensraten von 95 %, die auch der Modellierung zugrunde gelegt werden.

Sortierkosten

Die Miterfassung von Eisenschrotten hat keine nennenswerten Auswirkungen im Hinblick auf eine Veränderung der spezifischen Sortierkosten.

Verwertbarkeit/verwertungstechnische Eigenschaften

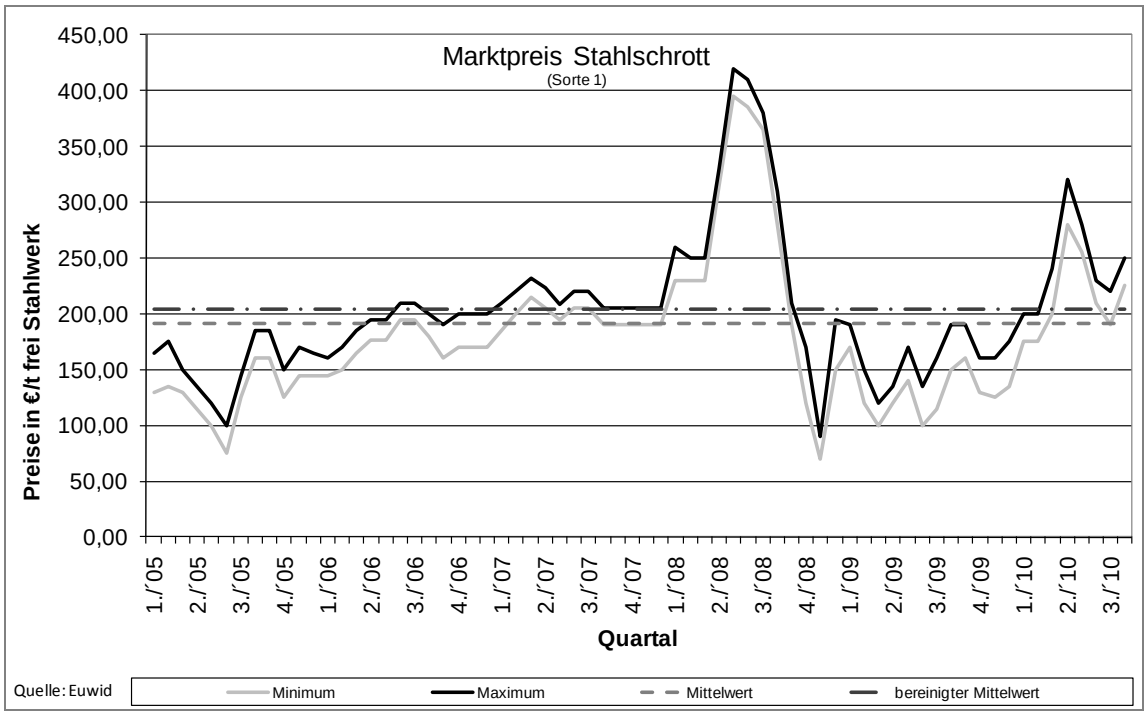
Die StNVP werden meist nach Konditionierung in Shredderanlagen separat oder im Gemisch mit Dosenschrotten in identische Verwertungspfade der Primär- und Sekundär-Roheisen- und Stahlproduktion überführt.

Ökonomische Werthaltigkeit

Eisenschrotte aus einer Wertstofftonne werden im Wesentlichen als Beimischungen zu Dosenschrotten auftreten, so dass spezifische Erlöse der NVP-Anteile den Marktpreisen für Weißblechschrotte entsprechen.

Weißblechschrotte gehören nicht zu den Schrottarten, für die ein spezifischer Preisindex geführt wird. Zur Marktpreisermittlung greift der Schrotthandel in der Regel auf den Preisspiegel der Stahlschrott Sorte1 zurück. Davon ausgehend werden z. Zt. ca. 50 % zur Vergütung der FE-Metalle aus der LVP-Fraktion in Ansatz gebracht. Abbildung 5.2 zeigt die Preisentwicklung der Stahlschrott-Sorte 1 in den letzten 5 Jahren. Im Mittel wurden ca. 200 €/t erlöst. Unter Berücksichtigung o.a. Faktors wird für die mit Dosenschrott bereitgestellten Eisenschrotte entsprechend ein mittlerer Erlös von 100 €/t vorausgesetzt.

Abbildung 5.2 Entwicklung der Marktpreise für Stahlschrott, Sorte 1



Ökologische Relevanz

Eisenschrotte lassen sich abtrennen und werden auch aus allen zur Zuweisung zur Wertstofftonne alternativen Restabfall-Entsorgungspfaden abgetrennt. Allerdings ist der Rückgewinnungsgrad über den Restabfallpfad insbesondere bei Entsorgung über MVA signifikant niedriger.

Unter Ansatz einer Ausbringensdifferenz von 30 % Punkten resultieren aus der Zuweisung von Fe-Schrotten zur getrennten Wertstofferfassung gegenüber dem Verbleib in Restabfall (auf Basis von HTP/IFEU 2000) folgende Gutschriften (Randbedingungen und Systemgrenzen sind in Kapitel 5.3 erläutert):

Ressourcenbeanspruchung: ca. 2,6 * 10^6 kJ/t

Treibhauseffekt: ca. 3,8 * 10^2 kg CO_{2eq}/t

5.2 StNVP aus NE-Metallen

Definition

Unter StNVP aus NE-Metallen werden die NVP zusammengefasst, deren Sortier- und bedingt auch Verwertungseigenschaften näherungsweise mit denen von Aluminiumverpackungen vergleichbar sind. Neben den im engeren Sinne des Begriffs „stoffgleiche“ NVP aus Aluminium sind Abfälle aus Buntmetallen und Buntmetalllegierungen (insbesondere Messing) sowie aus hochlegierten Stählen vereinfachend unter NE-Metallen (technisch korrekter: nicht ferromagnetische Metalle) zusammengefasst. Mengenrelevante NVP-Abfälle dieser Gruppe sind den Produktsegmenten Haushaltsartikel und Wohnambiente zuzuordnen (Alufolie, Töpfe, Pfannen, Bestecke, Dekorationsartikel etc.).

Mengenrelevanz, Potenzial und abschöpfbare Menge

Das Potenzial wird auf ca. 1,2 kg/E*a abgeschätzt. Bereits heute werden über das LVP-Erfassungssystem hiervon etwas über 0,3 kg/E*a abgeschöpft. Unter Ansatz einer durchschnittlichen Erfassungsquote für den Fall einer (auch formalen) Zuweisung zur Wertstofftonne wird ein Anstieg der Erfassungsmenge von weiteren 0,3 kg/E*a auf 0,6 kg/E*a erwartet (vgl. Tabelle 4.9 und Tabelle

Tabelle 4.10).

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsstrukturen/ Verwertungsstrukturen

Neben den in Restabfall- und LVP-Sammelmenge enthaltenen NVP-NE-Schrotten sind diese in geringem Maße auch Bestandteil des Sperrmülls (insbesondere Aluminium).

Wie bei Fe-Schrotten wird das Entsorgungsangebot durch gewerbliche Sammlungen und die Abgabemöglichkeit an Wertstoffhöfen ergänzt.

Für die im Restabfall enthaltene Teilmenge ist ebenfalls von einer zumindest partiellen Rückgewinnung im Rahmen der Abfallverbrennung nachgeschalteten Restaschenaufbereitung auszugehen. Mit dem heutigen Standardverfahren der Restaschenaufbereitung werden allerdings lediglich ca. 20 % der enthaltenen NE-Metalle rückgewonnen (Pretz, 2008).

Insbesondere ist ein Ausbringen von Aluminium mittels Wirbelstromscheidung kaum möglich. Da die Temperaturen auf dem Rost (850°C) über dem Schmelzpunkt von Aluminium liegen, liegt Aluminium in der Rostasche in schwer zugänglicher Form und Bindung vor.

Akzeptanz zur Getrennthaltung

Die bisherigen Ergebnisse zur Miterfassung von NVP-NE-Metall legen die Vermutungen nahe, dass hierfür ähnlich wie bei der korrespondierenden Verpackungsmaterialgruppe vergleichsweise etwas unterdurchschnittliche Erfassungsquoten zu erwarten sind. Die Ursachen sind bislang nicht untersucht.

Sortierverhalten

NVP aus NE-Metallen sind bereits heute in nennenswerter Größenordnung im LVP-Sammelgemisch enthalten. Ihr Sortierverhalten bzw. die Möglichkeiten, sie in die Metallfraktionen der Sortierung zu überführen, können daher weitgehend deskriptiv erörtert werden.

Standardverfahren zur Aussortierung von Aluminium- und aluminiumhaltigen Verpackungen in der LVP-Sortierung ist die Wirbelstromscheidung. Ausbringensraten liegen bei geeigneter Maschinenauswahl, Ausführung und Betriebsweise für Aluminium- und Aluminiumverbundmaterialien nach betrieblichen Messungen der Verfasser jenseits von 90 %.

Das Verfahrensprinzip der Wirbelstromscheidung beruht auf der Induktion elektrischer Ströme in elektrisch leitenden Materialien durch ein hochfrequentes magnetisches Wechselfeld.

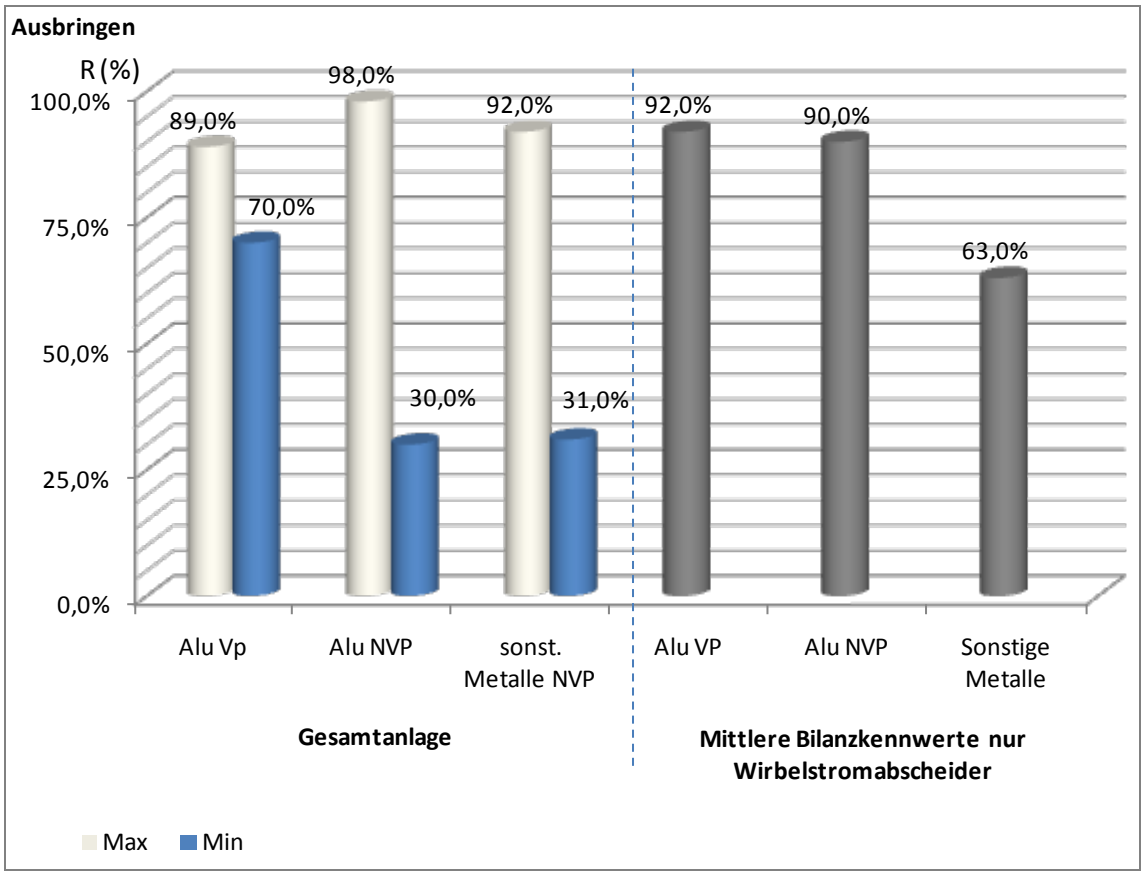
Dieses wird in der maschinentechnischen Umsetzung durch einen mit Starkfeld-Permanentmagneten in Wechselpolarordnung besetzten Rotor erzeugt, der in einer Förderbandkopftrommel mit hoher Drehzahl rotiert. Der im leitenden Partikel induzierte Strom bildet ein eigenes Magnetfeld aus, welches dem Wechselfeld der Maschine stets entgegengesetzt ist. Die resultierende Abstoßung führt zur Auslenkung elektrischer Leiter aus dem Förderstrom. Ferromagnetische Teile würden angezogen und müssen daher vor der Wirbelstromscheidung weitestgehend vorher abgetrennt sein.

Die auslenkende Kraft ist verglichen mit der Anziehungskraft einer Magnetscheidung relativ gering, so dass vereinfacht das Verhältnis von elektrischer Leitfähigkeit zu Masse als Trennmerkmal gilt. Daneben spielt die Form des elektrischen Leiters eine gravierende Rolle; Voraussetzung für die Trennung ist, dass der induzierte Strom gerichtet fließt. (Daher lässt sich eine zur Kugel geknüllte Aluminiumfolie nicht gut separieren.)

Die Schilderung des Trennprinzips macht deutlich, dass die Technik grundsätzlich zur Separierung aller elektrisch leitenden Abfälle, also aller Metalle geeignet ist. Aluminium bietet mit einer Leitfähigkeit von 35 m/Ω x mm² bei einer Dichte von 2,7 g/cm³ andere Voraussetzungen als bspw. Blei (Leitfähigkeit 4,82 m/Ω x mm², Dichte: 11,34 g/cm³). Entsprechend können je nach Einsatzzweck unterschiedliche Maschinentypen zum Einsatz kommen, die sich im Wesentlichen in Art und Bestückung des Magnetsystems unterscheiden.

Wirbelstromscheider sind in LVP-Sortieranlagen nur im Fein- und Mittelgutstrom angeordnet, u. a. da Aluminiumverpackungen nicht im Grobgut enthalten sind. Stoffgleiche NVP sind über das gesamte Größenspektrum vertreten. Nach eigenen Auswertungen können bis zu 70 % in der Größenklasse + 220 mm anfallen. Nicht in allen Sortieranlagen wird dieser Teilstrom nach Abtrennung von Folien weiter nachsortiert. Hierdurch erklärt sich die hohe Streubreite von Messergebnissen zum NE-Metall-Ausbringen in Gesamtanlagenbilanzen (s. Abbildung 5.3).

Abbildung 5.3 Bilanzergebnisse zum Ausbringen einzelner NE-Metalle in der LVP-Sortierung für unterschiedliche Bilanzräume



Sortiertechnische Umsetzung

Unter Hinweis auf die in Abbildung 5.3 dargestellten Bilanzkennwerte ist festzustellen, dass NVP aus NE-Metallen mit der vorhandenen technischen Standard-Ausrüstung einer LVP-Sortieranlage mit hohem Ausbringen rückgewinnbar ist. Allerdings ist einschränkend anzumerken, dass sowohl betriebsorganisatorische als auch im Einzelfall anlagentechnische Optimierungen erforderlich sind, um die technischen Möglichkeiten auch generell für den praktischen Betrieb voraussetzen zu können. Zur Modellierung wird ein Ausbringen von 80 % zugrundegelegt.

Sortierkosten

Die Erfassung von NVP aus NE-Metallen in einer Wertstofftonne hat keine nennenswerten Auswirkungen auf eine Veränderung der spezifischen Sortierkosten.

Verwertbarkeit/verwertungsspezifische Eigenschaften

NE-Metallschrotte können nicht gemeinsam mit Aluminiumverpackungen über die gesamte metallurgische Verwertungsprozesskette geführt werden. Sie sind daher i. d. R. beim Folgeempfänger (Aluminiumaufbereiter) zu separieren. Dies entspricht bereits heute der Praxis.

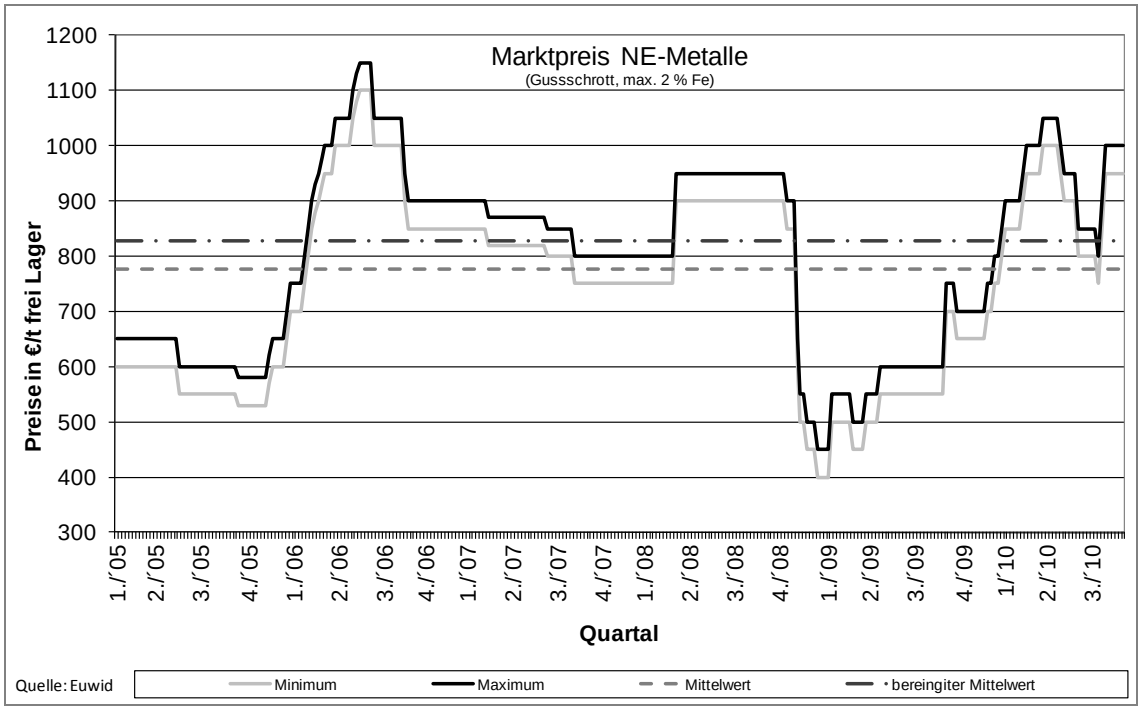
Ökonomische Werthaltigkeit

Gemischte NE-Metallschrotte bilden keine Qualität, die in Preisspiegeln zu Schrottsorten gelistet wird. Die Vergütung erfolgt nach Auskunft des Handels nach Marktpreis für die niedrigstpreisige Gemischtkomponente (Al-Gussschrott).

Die Abbildung 5.4 zeigt die Preisentwicklung dieser Schrottsorte über die letzten 5 Jahre.

Unter Ausklammern der durch die Wirtschaftskrise bedingten irregulären Situation an den Rohstoffmärkten (bereinigter Mittelwert) betrug die mittlere Erlöserwartung ca. 820 €/t.

Abbildung 5.4 Entwicklung der Marktpreise für Aluminium-Gussschrott



Ökologische Relevanz

Gegenüber dem Restabfallentsorgungspfad über MVA mit nachgeschalteter Rostaschenaufbereitung wird über die Miterfassung von NE-Metallschrotten in der Wertstofftonne eine signifikant höhere Rückgewinnungsquote erzielt.

Nach o. a. Ansätzen ist bei einer Miterfassung in einer Wertstofftonne und werkstofflichen Verwertung im Vergleich zur MVA mit Rostaschenaufbereitung von einem Mehrausbringen von ca. 650 kg je t getrennt gesammelten NE-Schrotts auszugehen.

Hierfür errechnen sich gegenüber dem Verbleib in der Restabfalltonne folgende Gutschriften (HTP/IFEU 2000, Randbedingungen und Systemgrenzen sind in Kapitel 5.3 erläutert). Hierbei wurden vereinfachend nur die Gutschriften für Aluminiumschrotte zugrunde gelegt.

Ressourcenbeanspruchung: ca. $5{,}0 * 10^7$ kJ/t

Treibhauseffekt: $5{,}8 * 10^3$ kg CO_{2eq}/t

5.3 StNVP aus Kunststoff, Untergruppe Folien

Definition

In der Untergruppe „Folien“ werden die StNVP zusammengefasst, die in den vorhandenen Verwertungsstrukturen der gleichnamigen Produktspezifikation zugeordnet werden. Typische, mengenrelevante Beispiele für NVP-Folien sind Müllsäcke, Mülltüten sowie Abdeckplanen.

Mengenrelevanz, Potenzial und Wertstofferfassung

Das Potenzial der NVP-Folien wird überschlägig auf 2,7 kg/E*a abgeschätzt. Ca. 1,1 kg/E*a befinden sich schon heute im LVP-Getrennterfassungssystem. Unter Ansatz einer durchschnittlichen Erfassungsquote von 55 % für den Fall einer (auch formalen) Zuweisung zur Wertstofftonne, wird ein Anstieg der spezifischen Erfassungsmenge um ca. 0,4 kg/E*a erwartet (vgl. Tabelle 4.9 und Tabelle 4.10).

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten/ Verwertungspfaden

Konkurrierende Erfassungsangebote bzw. alternative Strukturen zur stofflichen Verwertung sind heute nur für Verkaufsverpackungen vorgesehen. Diese beziehen

sich aber nur auf die Mengen, die in einer eigenen Erfassungsstruktur an gleichgestellten (gewerblichen) Anfallstellen erfasst werden (Mengen aus Branchenlösungen) bzw. die beim Handel zurückgenommen werden (Eigenrücknahme). Weiterhin existieren Rücknahmesysteme für Transportverpackungen. Für Folien aus anderen Herkunftsbereichen (StNVP) gibt es heute keine relevanten Erfassungsangebote.

Akzeptanz zur Getrennthaltung

Nach den bisherigen Erkenntnissen differenziert der Nutzer bei Kunststofffolien bereits heute nicht ausgeprägt nach dem Kriterium VP/NVP, sondern ordnet Kunststofffolien nach stofflichen Merkmalen der getrennten Wertstofferfassung zu. Eine Berücksichtigung von NVP-Folien im Zuweisungskatalog einer Wertstofftonne bildete insofern im Wesentlichen lediglich die aktuelle Praxis ab. Als Besonderheit ist zu beachten, dass nennenswerte Einträge sowohl in den Restmüll als auch ins Wertstofferfassungssystem (bestimmungsgemäß) durch Müllsäcke zu verzeichnen sind, wodurch die mögliche Erfassungsquote zusätzlich begrenzt ist.

Sortierbarkeit/Sortierverhalten

Da NVP-Folien bereits heute in erheblichem Umfang im LVP-Sammelgemisch enthalten sind, lassen sich deren sortiertechnischen Eigenschaften weitgehend deskriptiv charakterisieren. Bezüglich praktischer Randbedingungen und Zielsetzung des Sortierprozesses gelten für die NVP-Folien gleiche Voraussetzungen wie für VP-Folien.

Sortiertechnisches Standardverfahren ist die Gewinnung eines Folienkonzentrates durch Windsichtung aus dem Siebüberlauf der Primärklassierung bei einem Trennschritt von ca. 220 mm. Das als Windsichterleichtgut anfallende Folienkonzentrat muss einer manuellen Nachsortierung unterzogen werden, um den Anforderungen der Spezifikation bzw. der Abnehmer zu entsprechen. Im Rahmen der Sortierung findet keine Differenzierung nach VP/NVP statt. Vertraglich gefordert wird z. B. in den Sortierverträgen der DSD GmbH ein Folienausbringen von 70 %. Mit diesem vergleichsweise niedrigen Wert wird der Tatsache Tribut gezollt, dass eine trennscharfe Sortierung nach Format (> DIN A4) für Folien technisch nicht darstellbar ist. Die technische Umsetzung zielt entsprechend der eigentlichen Zielsetzung einer hochgradigen LDPE-Anreicherung aus qualitativen Gründen auf einen signifikant großformatigeren realen Trennschnitt ab.

Zusätzliche Sortierkosten

Die Zuweisung von NVP-Folien zur Wertstofftonne hat keine unmittelbaren Auswirkungen im Hinblick auf eine Veränderung der spezifischen Sortierkosten.

Verwertbarkeit/verwertungstechnische Eigenschaften

Die sortier- und verwertungstechnischen Eigenschaften der NVP-Folien sind äquivalent zur korrespondierenden VP-Gruppe. Großformatige NVP-Folien bestehen ebenfalls überwiegend aus LDPE, was die Voraussetzung für eine hochwertige werkstoffliche Verwertung darstellt.

Ausschließlicher Verwertungspfad für die ins Folienprodukt überführten Anteile ist die werkstoffliche Verwertung nach Wäsche und Regranulierung.

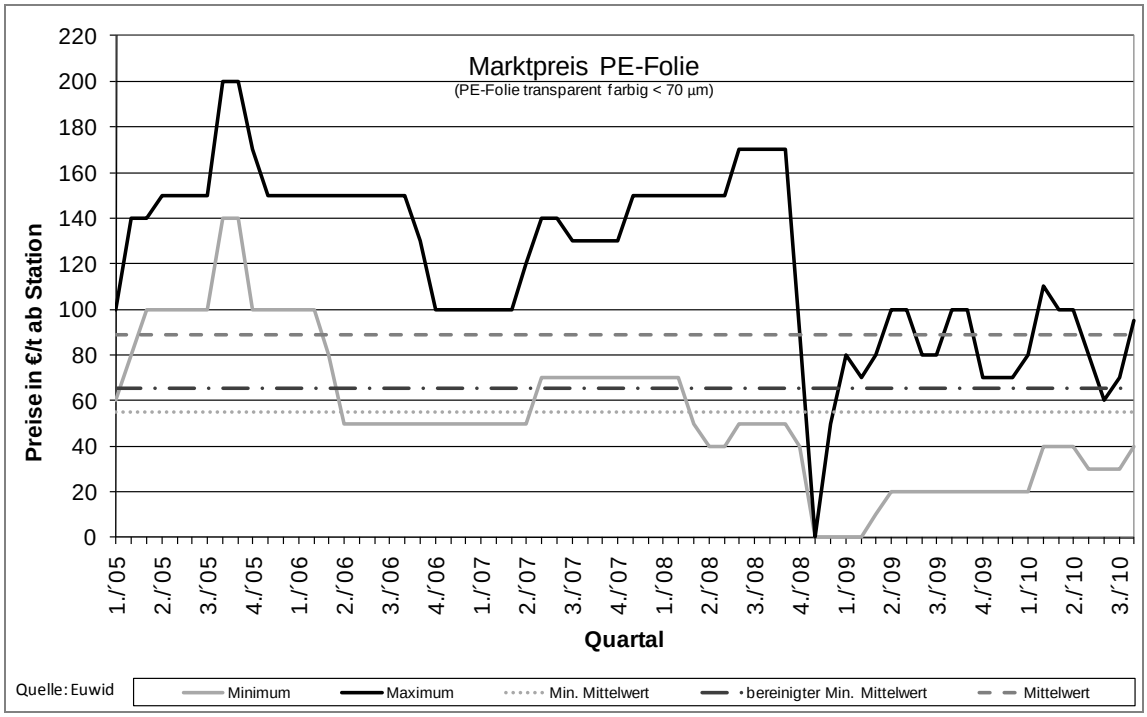
Ökonomische Werthaltigkeit

Das Sortierprodukt, dem die NVP-Folien zugeordnet sind, besitzt einen positiven Marktwert. Spezifische Preisspiegel für die aus der LVP-Sortierung bereitgestellte Qualitätsstufe existieren allerdings nicht.

Als Orientierungsgröße wurde in Abbildung 5.5 die Erlössituation für bunte LDPE-Folien < 70 µm (post user) zusammengestellt. Deren Verlauf dürfte qualitativ die Erlössituation für die aus LVP bereitgestellte Qualität repräsentieren. Aufgrund qualitativer Unterschiede wird die Werthaltigkeit der Folienfraktion auf 50 % der in Abbildung 5.5 zu entnehmenden Minimumkurve abgeschätzt. Im Mittel der letzten 5 Jahre entsprach dies einer Erlöserwartung von ca. 30 €/t.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Marktpreise für bunte LDPE-Folie (post user) aufgeführt, da für Folien aus LVP-Sammlung kein Preisspiegel existiert.

Abbildung 5.5 Marktpreise für bunte LDPE-Folien



Ca. 30 % der im Sammelgemisch enthaltenen NVP-Folien werden nach aktuellem Standard nicht als reine Folienfraktion, sondern über die Fraktion der Mischkunststoffe einer Verwertung zugeführt, die nur mit Zuzahlungen vermarktet werden kann. Daher ist die Bewertung der Werthaltigkeit der erfassten Folienmenge entsprechend zu relativieren.

Ökologische Relevanz

Die ökologische Relevanz einer Miterfassung von NVP-Folien ist durch den Abgleich der alternativen Pfade „Wertstofferfassung“ versus „Zuweisung zum Restabfall“ abzuschätzen.

Die ökologische Vorteilhaftigkeit einer Getrennterfassung wurde spezifisch bereits in einer früheren Studie (HTP / IFEU 2000) untersucht. Jenes Vorhaben hatte das Ziel zu untersuchen, ob für die verschiedenen LVP-Fraktionen aus ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten die separate Sammlung und Verwertung oder die Entsorgung im Restmüll vorteilhafter ist.

Als Daten- und Modellierungsgrundlage der ökologischen Bewertung dienten Massenbilanzen der Entsorgungsprozesse bis zu den Endprodukten. Die Verwertung der LVP-Fraktionen wurde in den drei Teilprozessen Sortierung, Aufbereitung und Herstellung

sekundärer Rohstoffe betrachtet (inkl. Transportprozesse). Die Herstellung äquivalenter Primärrohstoffe wurde als Gutschrift berücksichtigt.

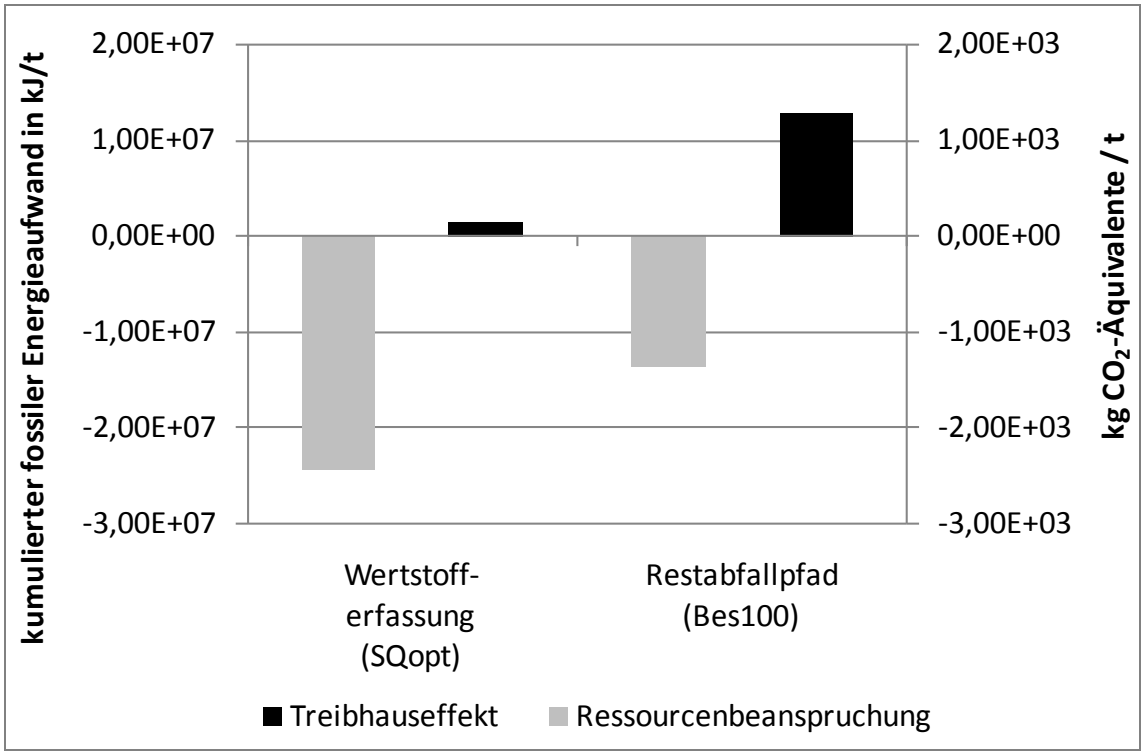
Die Systemgrenze in dieser Untersuchung bildete jeweils die Erfassungsmenge einer Materialgruppe, so dass die sortiertechnisch bedingte Aufteilung der Materialgruppe auf die unterschiedlichen Outputfraktionen (hier: Folien zur werkstofflichen Verwertung, Mischkunststoffe in werkstofflichen und energetischen Verfahren, Sortierreste in MVA) im Bilanzierungsrahmen abgebildet wurde. Als Referenz ist der Szenarienvergleich aus dem o.g. Gutachten (HTP / IFEU 2000) geeignet, in dem die Entsorgung über MVA (mit Energienutzung 70 %) mit dem Sortier- und Verwertungsszenario „optimierter Status“ verglichen wird. Der hier dargestellte „optimierte Status“ entspricht näherungsweise der heutigen Praxis.

Die beiden Szenarien lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

- Referenzszenario „Restabfallpfad, MVA 100 %“: Entsorgung des Materials in einer Müllverbrennungsanlage mit einem energetischen Wirkungsgrad von 70 %.
- Szenario „Wertstofferfassung, optimiert“: Halbautomatische Sortierung mit Kunststoffartentrennung

Die ökologische Bewertung erfolgte in Anlehnung an die Methode der Ökobilanz (Normen ISO 14040 bis 14043). Von den in der Studie (HTP/IFEU) ermittelten acht Wirkungskategorien ist das Ergebnis des Szenarienvergleichs für Kunststofffolien exemplarisch in den Wirkungskategorien „Ressourcenbeanspruchung“ (davon die Teilkategorie „Knappheit fossiler Energieträger in kJ/Tonne) und „Treibhauseffekt“ (in kg CO_{2eq}/Tonne) nachstehender Abbildung 5.6 zu entnehmen.

Abbildung 5.6 Ressourcenbeanspruchung (Knappheit fossiler Energieträger) und Treibhauseffekt für Folien / Wertstofferfassung versus Zuweisung zum Restabfall



Für eine getrennte Erfassung und Verwertung der Folienfraktionen lassen sich gegenüber dem Restabfallpfad folgende Gutschriften ableiten:

Ressourcenbeanspruchung (Knappheit fossiler Energieträger): $1{,}07 * 10^7$ kJ/t

Treibhauseffekt: $1{,}15 * 10^3$ kg CO_{2eq}/t

5.4 StNVP aus Kunststoff, Untergruppe Verpackungsstandard-polymere

Definition

In der Untergruppe Verpackungsstandardpolymere werden die (formstabilen) NVP zusammengefasst, die in den vorhandenen Verwertungsstrukturen des LVP-Getrennterfassungssystems den Produktspezifikationen (HD-)PE, PP, PS sowie „Eimer und Kanister“ zugeordnet sind. Von besonderer Mengenrelevanz sind hierunter Altstoffe aus den Massenkunststoffen PP und PE aus den Produktsegmenten Haushaltsware, Wohnambiente und Spielwaren.

Mengenrelevanz, Potenzial und Wertstofferfassung

Das Potenzial der NVP aus Standardverpackungspolymeren wird überschlägig auf 2,1 kg/E*a abgeschätzt. Ca. 0,7 kg/E*a befinden sich schon heute im LVP-Getrennterfassungssystem. Unter Ansatz einer durchschnittlichen Erfassungsquote von 55 % für den Fall einer Zuweisung zur Wertstofftonne wäre ein Anstieg der spezifischen Erfassungsmenge um ca. 0,5 kg/E*a zu erwarten (vgl. Tabelle 4.9 und Tabelle 4.10).

Darüber hinaus ist je nach Behälterangebot noch ein hier nicht quantifizierbares zusätzliches spezifisches Wertstoffpotenzial aus Sperrmüll zu erschließen (z.B. Gartenmöbel). Abgesehen von dieser (zusätzlichen) Wertstoffquelle bestehen bei Zuweisung der StNVP aus Standardverpackungspolymeren zur Wertstofftonne keine Auswirkungen auf Getrennterfassungssysteme.

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten/ Verwertungsstrukturen

Eine nennenswerte Konkurrenzsituation zu alternativen Wertstofferfassungssystemen mit dem Ziel einer stofflichen Verwertung von Verpackungsstandardpolymeren bzw. Strukturen einer stofflichen Verwertung sind entsprechend nicht gegeben.

Akzeptanz zur Getrennthaltung

Die Akzeptanz einer Zuweisung zum Getrennterfassungssystem durch den Nutzer kann angesichts des bereits zu verzeichnenden Trennverhaltens vorausgesetzt werden. Abgrenzungen von phänomenologisch ähnlichen NVP-Kunststoffen wie z. B. PVC oder PC setzen vertiefte Kenntnisse voraus und werden daher im Rahmen einer Getrennterfassung als nicht praktikabel angesehen.

Sortierbarkeit/Sortierverhalten

Da StNVP aus Standardverpackungspolymeren in nennenswerter Größenordnung bereits im LVP-Sammelgemisch enthalten sind, lassen sich deren sortiertechnische Eigenschaften weitgehend deskriptiv charakterisieren.

Bezüglich praktischer Randbedingungen und Zielsetzung des Sortierprozesses gelten für StNVP aus Standardverpackungspolymeren annähernd gleiche Bedingungen wie für die korrespondierenden Verpackungsmaterialien. Großformatige Komponenten können in allen Anlagen nach Vorabsiebung manuell entnommen und der (heutigen) Sorte „Eimer und Kanister“ (heutige Sortennummer 322 aus der Fraktionsliste der Mengenstromnachweise der Dualen Systembetreiber) zugeordnet werden, die im Weiteren (sowohl im Hinblick auf ihre ökonomische Werthaltigkeit als auch auf den spezifischen Verwertungspfad) wie ein Produkt einer Kunststoffartensortierung zu klassifizieren ist.

In größeren Anlagen mit Kunststoffartensortierung besteht daneben die Option, auf eine manuelle Sortierung großformatiger Komponenten zu verzichten und den gesamten groben Teilstrom nach Windsichtung über eine Zerkleinerung den automatischen Sortierprozessen (s. u.) zugänglich zu machen.

Der mengenmäßig bedeutende Anteil gelangt nach Vorabsiebung und sonstigen Vorkonditionierungsschritten zu den kaskadenartig angeordneten automatischen sensorgestützten Sortierstufen. Das Standardverfahren zur Detektion von Kunststoffen

und einzelner Kunststoffarten ist die Spektralanalyse reflektierten Lichts im Nahinfrarotbereich (NIR). Schwarz eingefärbte Kunststoffe sind hiermit nicht detektierbar; davon abgesehen werden mit Kennwerten von 85 - 90 % sowohl für Produktreinheit als auch -ausbringen bereits im einstufigen Prozess hohe Trennschärfen erzielt.

StNVP aus Standardverpackungspolymeren sind gemäß Produktspezifikationen sowohl der Sorte „Mischkunststoffe“ als auch einzelnen Kunststoffarten zuzuordnen, so dass ihr Verbleib maßgeblich vom technischen Ausrüstungsstand der im Einzelfall belieferten Sortieranlage abhängt.

Stand der Technik und auch überwiegend umgesetzt (vgl. Kapitel 4.1) ist die Auftrennung der Kunststoffe in einzelne Kunststoffarten, so dass die Bewertung der Miterfassung der NVP aus Standardverpackungspolymeren in einer Wertstofftonne auf dieser Prämisse beruhen sollte.

Sortierkosten

Die Miterfassung von StNVP aus PE, PP und PS hat keine unmittelbaren Auswirkungen auf eine Veränderung der spezifischen Sortierkosten. Vereinfachend wird hierbei vorausgesetzt, dass im Einzelfall erforderlicher Aufwand bei einer Nachrüstung einer automatischen Sortierung der polyolefinischen Kunststoffe (PE, PP) in einfacher Ausführung durch Entfall von Kosten für die alternative manuelle Sortierung zumindest kompensiert wird.

Verwertbarkeit/verwertungstechnische Eigenschaften

Die verwertungstechnischen Eigenschaften der StNVP aus Standardverpackungspolymeren sind, wie die sortiertechnischen, näherungsweise äquivalent zu den korrespondierenden VP-Artikelgruppen. Näherungsweise bedeutet dies in beiden Fällen, dass wegen im Mittel höherer Materialstärke und damit geringerer spezifischer Oberfläche sowie fehlender Etikettierung die quantitativen Bewertungskenngrößen wie z. B. Regranulatausbeute oder Sortierquote für die StNVP tendenziell höher sind.

Die hier angesprochene Wertstoffgruppe der Standardverpackungspolymere aus dem Nichtverpackungsbereich sind hauptsächlich einfache PE- und PP-Massenprodukte ohne besondere Zuschlagsstoffe.

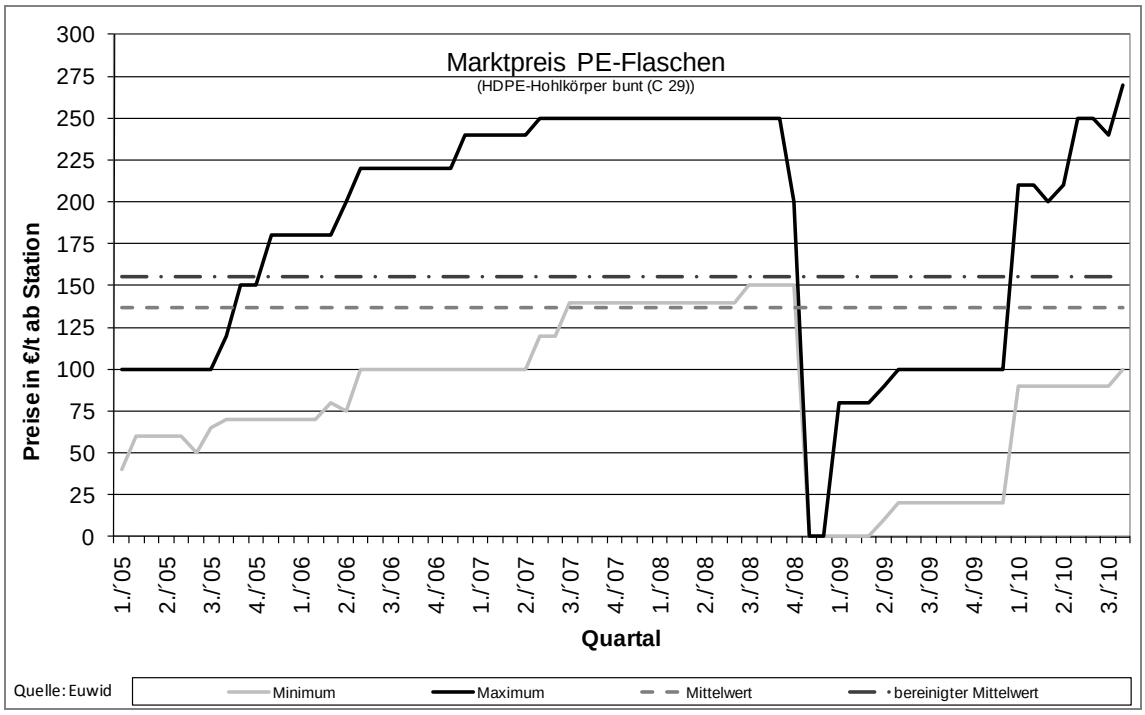
Ökonomische Werthaltigkeit

Die Sortierprodukte, denen die StNVP aus Standardverpackungspolymeren bei einer Sortierung nach Kunststoffarten zuzuordnen sind, stellen ausnahmslos Erlösfraktionen dar.

Exemplarisch ist in Abbildung 5.7 die Marktpreisentwicklung der letzten 5 Jahre für Post-consumer-PE-Flaschen dargestellt. Abgesehen von dem durch den Zusammenbruch der Rohstoffmärkte bedingten Preisverfall im Zeitraum 3. Quartal 2009 bis einschließlich 1. Quartal 2010 ist ein kontinuierlicher Preisanstieg zu verzeichnen. Der mittlere Erlös je t bei regulären Marktverhältnissen betrug ca. 150 €/t. Aktuell bewegen sich die Erlöse für PE und PP-Sortierprodukte aus der LVP-Sortierung bei 250 - 300 €/t.

Im Rahmen der Bewertung wird die mittlere Erlöserwartung der letzten 5 Jahre mit 150 €/t zugrunde gelegt.

Abbildung 5.7 Marktpreise für PE-Flaschen (post consumer)



Ökologische Relevanz

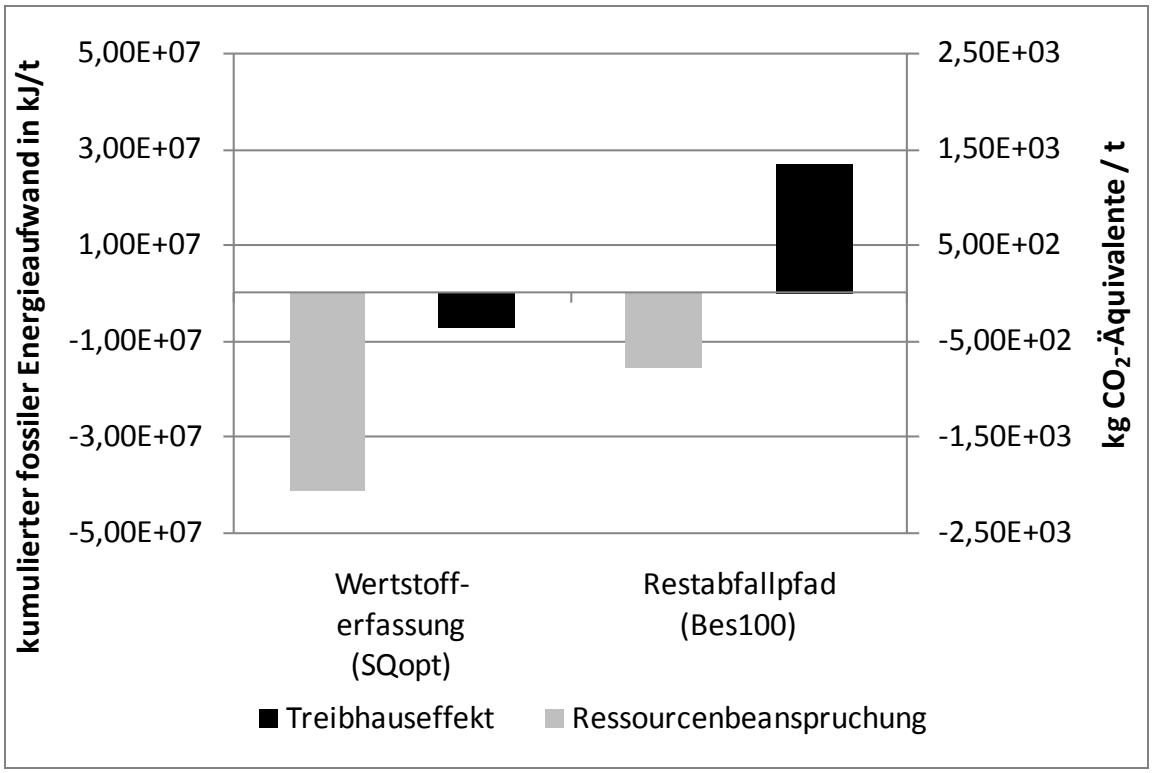
Die ökologische Relevanz einer Miterfassung von StNVP aus den Standardverpackungspolymeren PE, PP und PS in der Wertstofftonne ist durch den Abgleich der

Szenarien mit getrennter Wertstofferfassung (und Sortierung und Verwertung) versus Entsorgung im Restabfall abzuschätzen. Dieser Abgleich wurde für einzelne Materialgruppen bereits in einer früheren Untersuchung differenziert vorgenommen (HTP/IFEU 2000, Ausführungen zu Rahmenbedingungen vgl. Kapitel 5.3). Exemplarisch ist für die StNVP äquivalente Artikelgruppen, bestehend aus Verpackungsstandardpolymeren aus Abbildung 5.8, der Vergleich Getrennterfassung versus optimierter MVA für die Wirkungskategorien Ressourcenbeanspruchung und Treibhauseffekt ersichtlich.

Der Pfad einer getrennten Erfassung und überwiegend werkstofflichen Verwertung weist in beiden Kriterien eine signifikante ökologische Vorteilhaftigkeit auf. Die gegenüber einer Verwertung über den Restabfallpfad (MVA) anzusetzenden Gutschriften (HTP/IFEU 2000) betragen ca.:

Ressourcenbeanspruchung (Knappkeit fossiler Energieträger):	$2{,}6 * 10^7$ kJ/t
Treibhauseffekt:	$1{,}7 * 10^3$ kg CO_{2eq}/t

Abbildung 5.8 Ressourcenbeanspruchung und Treibhauseffekt für Standardverpackungspolymere/Wertstofferfassung versus Restabfallentsorgung in MVA (HTP/IFEU 2000)



5.5 StNVP aus Kunststoff, Untergruppe sonstige Kunststoffe

Definition

In der Untergruppe „sonstige Kunststoffe“ werden NVP zusammengefasst, die nicht den derzeit ausschließlich für eine werkstoffliche Verwertung konfektionierten Kunststoffsorten entsprechen. Dies sind neben im engeren Sinne des Wortes stoffgleichen NVP wie EPS oder kleinformatigen Haushaltsartikeln wie Gefrierbeutel und sonstige Kleinfolien aus dem Haushalt, auch Abfälle aus Kunststoffarten, die im Verpackungsbereich nicht eingesetzt werden, wie z.B. PC, PUR, ABS. Gemeinsames Merkmal ist, dass sie mit Ausnahme der NVP aus PVC der Produktspezifikation für Mischkunststoffe genügen.

Mengenrelevanz, Potenzial und Wertstofferfassung

Das Potenzial der unter „sonstige Kunststoffe“ zusammengefassten NVP wird auf 4,2 kg/E*a abgeschätzt, wovon sich ca. 1 kg/E*a bereits im LVP-Getrennterfassungssystem befinden. Unter Ansatz einer durchschnittlichen Erfassungsquote von 60 % für den Fall einer Zuweisung zur Wertstofftonne lässt sich ein zusätzlicher Eintrag von ca. 1,5 kg/E*a abschätzen (vgl. Tabelle 4.9 und Tabelle 4.10).

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten/ Verwertungsstrukturen

siehe Kapitel 5.4

Für CDs und DVDs, die aus Polycarbonat bestehen, gibt es aufgrund der Hochwertigkeit dieses Kunststoffes einzelne, individuelle separate Erfassungsangebote. Die so erfassten Mengen werden in werkstofflichen Verfahren verwertet. Eine Miterfassung von CDs und DVDs in der Wertstofftonne könnte einen Teil der bisher getrennt gesammelten PC-Stoffströme in die Wertstofftonne umlenken.

Akzeptanz zur Getrennthaltung

siehe Kapitel 5.4.

Sortierverhalten

Bezüglich der praktischen Randbedingungen und der Zielsetzungen des Sortierprozesses gelten für die NVP dieser Gruppe gleiche Voraussetzungen wie für die VP der Spezifikation „Mischkunststoffe“. Das Standardverfahren zur Separierung von Mischkunststoffen gliedert sich in 2 Teilstränge. Flächige und extrem leichte Komponenten (sog. Mischkunststoffe, weich) werden durch Windsichtung aus dem vorklassierten Teilstrom ca. < 220 mm erzeugt. Aus dem Sichterschwergut wird im weiteren Verfahrensgang durch automatische sensorgestütze Sortierung ein überwiegend aus „formstabilen“ Kunststoffen bestehender Mischkunststoff erzeugt. Die Detektion erfolgt zurzeit ausschließlich über NIR-Spektrometrie, die eine Differenzierung auf der Ebene der Kunststoffarten ermöglicht. PVC wird an dieser Stelle in der Regel mit dem Ziel der Überführung in die Sortierreste unterdrückt.

Im Rahmen der Sortierung findet damit bereits aktuell keine Differenzierung nach VP und NVP statt.

Sollten aus den sonstigen Kunststoffabfällen hochwertig stofflich verwertbare Sorten erschlossen werden - eine Option, die insbesondere für Thermoplaste wie PC, ABS oder PVC grundsätzlich in Betracht zu ziehen ist - sind entsprechende Prozesseinheiten vorzuhalten und zu implementieren (siehe auch nachfolgenden Abschnitt).

Sortierbarkeit

Über das Standardsortierverfahren zur Abtrennung von Kunststoffen sind NVP dieser Untergruppe selektiv sortierbar. Aus Gründen der sehr geringen Mengenrelevanz einzelner Kunststoffsorten wird eine entsprechend vertiefte Sortierung anders als bei den Standardpolymeren PE, PP, PS und PET bislang allerdings nicht praktiziert (siehe hierzu techn.-ökonomische Abhängigkeit in Kapitel 4).

Ob sich bei gezielter Aufnahme von NVP-Kunststoffen der Stoffbestand im Sammelgemisch derart ändert, dass dies Veränderungen der Palette der Sortierprodukte ohne entsprechende Vorgaben durch den Verordnungsgeber rechtfertigt oder bedingt, bleibt nach derzeitigem Erkenntnisstand fraglich. So umfasst die hier diskutierte NVP-Gruppe Kunststoffe, die grundsätzlich für eine hochwertige stoffliche Verwertung durch z. B. Regranulierung geeignet sind (z.B. PVC und PC).

Zu beachten ist allerdings, dass hierfür nicht nur Kunststoffartenreinheit, sondern Sortenreinheit in Annäherung an die Klassifizierung von Primärware erforderlich ist (vgl. Kapitel 4.2), was eine entsprechende Unterfraktionierung impliziert. Angesichts der Vielzahl im NVP-Bereich verwendeter Kunststoffarten und deren jeweiliger Modifikationen, deren quantitative Bedeutung im Abfallstrom im Einzelnen bislang nicht untersucht wurde, fehlt die Datengrundlage zur fundierten Erörterung der technisch-wirtschaftlichen Voraussetzungen separater (technisch theoretisch möglicher) Bereitstellung für einen eigenständigen Verwertungspfad.

Als gesichert kann aber angesehen werden, dass es für eine differenziertere Sortierung der Entwicklung neuer Prozesstechniken bedarf, um eine auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten vertretbare Option für die selektive Aussortierung einzelner NVP-Kunststoffsorten unter der Randbedingung relativ niedriger Eingangskonzentrationen zu erschließen.

Sortierkosten

Die Miterfassung von NVP der Untergruppe „sonstige Kunststoffe“ hat keine nennenswerten Auswirkungen auf die Sortierkosten, soweit sie nicht mit einer Änderung der Produktpalette der Sortierung verknüpft wird.

Sollen einzelne Sorten selektiv für eine werkstoffliche Verwertung separiert werden, wird dies zu zusätzlichen Kosten führen. Eine hierzu geeignete Verfahrenstechnik ist erst vornehmlich unter dem Kriterium Kosteneffizienz zu entwickeln, so dass Kosten sich zurzeit auf Grundlage konzeptioneller Vorüberlegungen nur grob abschätzen lassen. Ein möglicher Lösungsansatz besteht in einer kollektiven Aussortierung mehrerer Kunststoffsorten mit anschließender selektiver Zerlegung über ein einzelnes multifunktionales Sortieraggregat. Die spezifischen Betriebskosten für eine solche modulare Ergänzung lassen sich auf 4 - 10 € je t Sortieranlageninput abschätzen.

Anmerkung: Unter der Prämisse, dass ca. 1 % (0,3 kg/E*a) sortenreine NVP-Kunststoffe aussortiert werden, ergeben sich spezifische Herstellungskosten (Investitions- und Betriebskosten) von 400 - 1.000 €/t, so dass ohne entsprechende Vorgaben nicht mit einer Umsetzung zu rechnen ist.

Verwertbarkeit/verwertungstechnische Eigenschaften

Nach **derzeitiger Sortierpraxis** werden die verwertungstechnischen Eigenschaften über die Zuweisung zur Spezifikation „Mischkunststoffe“ definiert. Wegen der primären Zuweisung dieser Sortierfraktion zur energetischen Verwertung sind NVP aus PVC aufgrund ihres hohen Chlorgehaltes als problematisch einzuordnen. Negative Beeinflussungen in Bezug auf Überschreitungen von Grenzwerten für die energetische Verwertung (z. B. durch den Eintrag von Cadmium oder Flammschutzmittel) sind für Mischkunststoffe und EBS-Vorprodukte aus den Modellregionen nicht bekannt.

Die verwertungstechnischen Eigenschaften der NVP der Untergruppe „sonstige Kunststoffe“ sind aber auch ansonsten nicht vollständig äquivalent zur korrespondierenden Verpackungsmaterialgruppe. Dies resultiert aus dem vergleichsweise niedrigeren Anteil thermoplastischer Kunststoffe.

Für den aktuell prioritären Verwertungspfad einer energetischen Verwertung nach Aufbereitung der Mischkunststoffe zu EBS wird dies als wenig relevant erachtet.

Die werkstoffliche Mischkunststoffverwertung basiert dagegen im Wesentlichen auf dem Polyolefinanteil der Mischkunststofffraktion, der bei Systemöffnung für NVP-Kunststoffe prognosegemäß sinken dürfte.

Eine vergleichbare Qualitätsveränderung ist in den letzten Jahren durch die Ausweitung der Sortierkapazitäten mit Kunststoffartensortierung zu verzeichnen. Aktuell zeichnet sich ab, dass zukünftig in der Sortierung eine qualitative Auftrennung der Mischkunststoffe im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen beider Pfade (energetisch und werkstofflich) vorgenommen werden wird, um die Rohstoffbasis der werkstofflichen Mischkunststoffaufbereitung zu sichern.

Werden die verwertungstechnischen Eigenschaften der Kunststoffe dieser Untergruppe **losgelöst von der derzeitigen Zuordnungspraxis** erörtert, ist zunächst eine Grobklassifizierung in die Gruppen Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere erforderlich.

Thermoplaste sind vom Grundsatz her durch Umschmelzen regenerierbar, während diese Option für die beiden letztgenannten Gruppen entfällt. Entsprechend sind thermoplastische Kunststoffe daher vom Grundsatz her auch als potentiell eher stofflich verwertbar einzuordnen. Unter den hier zusammengefassten NVP gilt dies insbesondere für formstabiles PVC, ABS und PC. Entsprechende Verwertungsstrukturen basieren heute i. d. R. auf Produktionsabfällen oder anderen sortenreinen Abfällen

(z.B. PVC-Fensterprofile, Rohre, CDs und DVDs aus PC). Voraussetzung für die Erschließung von (bestehenden) stofflichen Verwertungspfaden ist bei allen thermoplastischen Kunststoffen die Bereitstellung entsprechend eng spezifizierter Sorten; also eine Herausforderung an die Sortierung (vgl. Sortierbarkeit) und weniger eine Frage stofflich bedingter Gegebenheiten.

Ökonomische Werthaltigkeit

Das Sortierprodukt, dem die sonstigen NVP-Kunststoffe derzeit zuzuordnen sind, bedarf zur Verwertung einer Zuzahlung. Die Vermarktungspreise sind abhängig von den Kosten bzw. der Erlössituation für qualitätsgesicherten hochkalorischen EBS. Zurzeit beträgt das Zuzahlungsniveau für Mischkunststoffe ab Sortieranlage ca. 50 €/t.

Für ggf. zukünftig in gewissem Umfang zu separierende Kunststoffsorten sind Erlöse zu erzielen (z. B. PC (DVD/CD) ca. 250 €/t).

Ökologische Relevanz

Die ökologische Relevanz einer Miterfassung von NVP der Untergruppe „sonstige Kunststoffe“ ist durch Abgleich der alternativen Pfade „Wertstofftonne versus Entsorgung im Restabfall“ abzuschätzen. Die Sinnhaftigkeit einer getrennten Erfassung und Sortierung mit anschließender Verwertung in der Fraktion „Mischkunststoffe“ im Vergleich zu einem optimierten MVA-Szenario wurde für Stoffgruppen mit vergleichbarem Stoffbestand in einer früheren Studie untersucht (HTP/IFEU 2000, vgl. Rahmenbedingungen in Kapitel 5.3). Abbildung 5.9 und Abbildung 5.10 zeigen die Ergebnisse für die Wirkungskategorien „Ressourcenbeanspruchung“ und „Treibhauseffekt“.

Abbildung 5.9 Ressourcenbeanspruchung (Knappheit fossiler Energieträger) und Treibhauseffekt für sonstige Kunststoffe /Wertstofferfassung versus Restabfallentsorgung (MVA) (HTP/IFEU 2000)

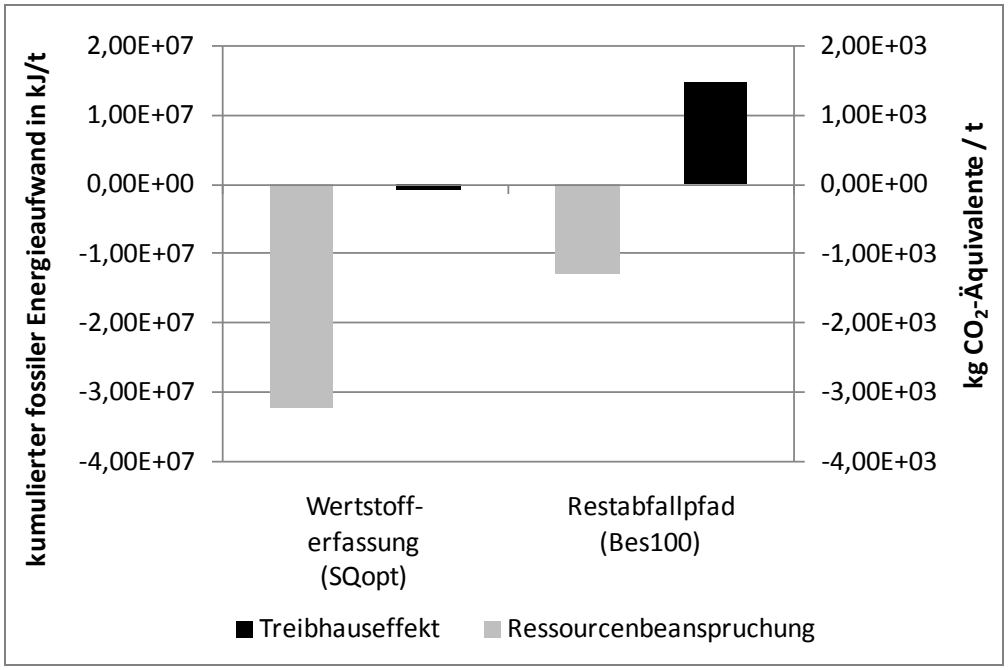
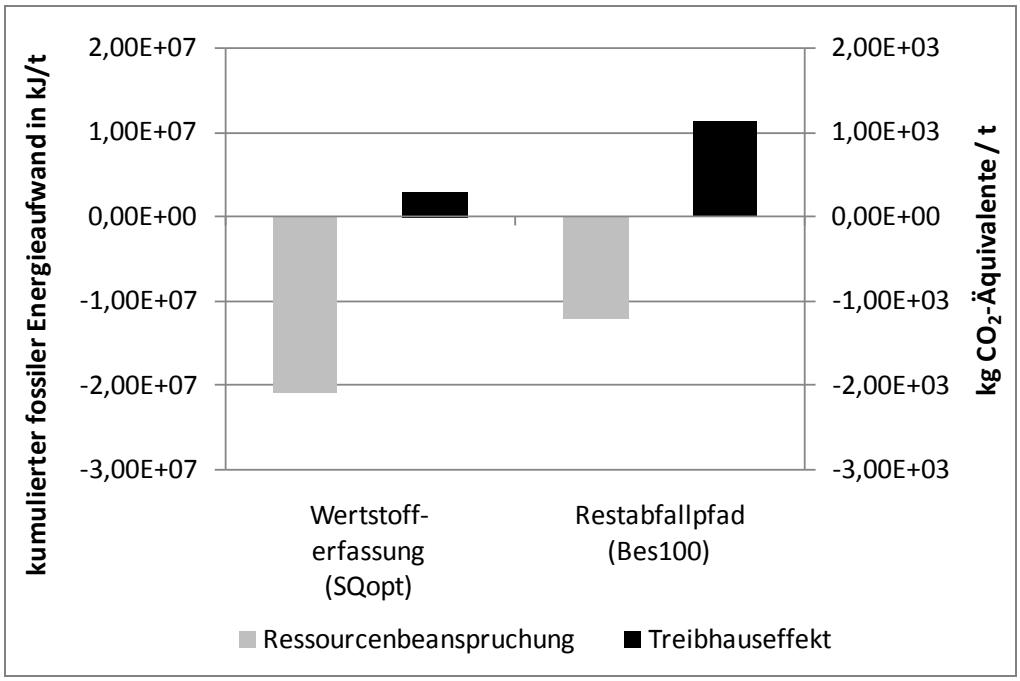


Abbildung 5.10 Ressourcenbeanspruchung (Knappheit fossiler Energieträger) und Treibhauseffekt für Kleinfolien /Wertstofferfassung versus Restabfall-entsorgung (MVA) (HTP/IFEU 2000)



Die Gegenüberstellungen unterstreichen die grundsätzliche ökologische Vorteilhaftigkeit einer Zuweisung zur Wertstofftonne mit Verwertung in der Fraktion „Mischkunststoffe“. Gegenüber einer Zuordnung zum Restabfallpfad (MVA) belaufen sich die Gutschriften in einer Größenordnung von ca.:

Ressourcenbeanspruchung (Knappkeit foss. Energieträger:	0,9 - 1,9 * 10^7 kJ/t
Treibhauseffekt:	0,8 - 1,5 * 10^3 kg CO_{2eq}/t

Für die Verwertung einzelner Kunststofffraktionen wie PC, PVC, ABS sind keine quantitativen Daten zur ökologischen Bewertung verfügbar. Aus der Erfahrung z. B. im Bereich der Standardverpackungspolymere ist abzuleiten, dass die ökologische Vorteilhaftigkeit der werkstofflichen Verwertung von reinen Kunststofffraktionen im Vergleich zur oben dargestellten Mischkunststoff-Verwertung noch signifikant steigen wird.

5.6 NStNVP aus Holz

Definition

Die Stoffgruppe „Holz“ umfasst alle Abfälle, die im Wesentlichen aus dem Werkstoff Holz hergestellt wurden bzw. bestehen wie Spanplatten, Konstruktionshölzer, Kisten, Kleiderbügel, Spielzeug etc.

Mengenrelevanz, Potenzial und Wertstofferfassung

Das Potenzial an Holz im Restabfall wird auf 2,4 kg/E*a abgeschätzt. Im LVP-Sammelgemisch tritt Holz als Fehlwurf nur in marginaler Größenordnung auf (< 0,1 kg/E*a). Eine umfassende Zuweisung von Altholz zur Wertstofftonne wurde in keinem der bisherigen Versuchsgebiete angestrebt; die vorgenommene Abschätzung einer 60 %igen Erfassungsquote, woraus eine erfassbare Menge von ca. 1,4 kg/E*a resultierte, bedarf einer empirischen Überprüfung.

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangaben/Verwertungspfaden

Die Prognose für ein Szenario einer Zuweisung von Holz zur Wertstofftonne ist insbesondere deswegen außerordentlich problematisch, da periodisch in den Haushalten anfallende Altholzmengen z. T. sortenrein über Wertstoffhöfe oder über den

Sperrmüllpfad entsorgt werden. Allein Sperrmüll weist einen Holzanteil von ca. 60 % auf. Bei einem bundesdurchschnittlichen Sperrmüllaufkommen von ca. 30 kg/E*a resultiert hieraus ein zusätzliches Potenzial von bis zu 18 kg/E*a. Inwieweit eine Teilsubstitution alternativer Entsorgungspfade bei Zuweisung von Altholz zur Wertstofftonne zu verzeichnen wäre, wird von regionalspezifischen Besonderheiten abhängig sein (z. B. Kosten Sperrmüllabfuhr, Behältergrößen LVP-Erfassung). Eine Abschätzung wäre daher rein spekulativ (vgl. Tabelle 4.9 und Tabelle 4.10).

Akzeptanz zur Getrennthaltung

In den bislang durchgeführten Pilotvorhaben zur Wertstofftonne wurde, soweit Altholz im Zuweisungskatalog berücksichtigt war, von dieser Möglichkeit nur sehr begrenzt Gebrauch gemacht (vgl. ATUS 2009).

Die Ursachen dürften im Wesentlichen im Fehlen aktiver Bewerbung zu sehen sein. Da Altholz nur in marginalem Umfang in der Wertstofftonne vorgefunden wurde, sind auch potentielle Abgrenzungsprobleme bislang nicht aufgetreten. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass Ausschlüsse insbesondere von mit Holzschutzmitteln behandelten Hölzern sowie von Baum- und Strauchschnitt, Stubben etc. zu formulieren, aber nur mit Abstrichen umsetzbar sein werden.

Sortierverhalten

Holz wird in derzeitigem LVP-Sortierprozess den Sortierresten zugewiesen. Dies gilt auch, wenn ein EBS-Vorprodukt nach Spezifikation erzeugt wird.

Holz wird also in der Sortierpraxis generell als Störstoff angesehen. Beim Durchlaufen der Prozesskette verbleibt Holz überwiegend im Durchgang der einzelnen Sortierstufen und reichert sich im Restestrom an. In der auf Oberflächenmessverfahren beruhenden Sortiertechnik der heutigen Anlagengenerationen sind allerdings auch Querkontaminationen bei naturbelassener Holzoberfläche in das PPK-Produkt und bei kunststoffbeschichteten Spanplatten in die Kunststoffprodukte zu verzeichnen, die im Rahmen der Produktkontrolle durch manuelle Entnahme und Zuführung zum Restestrom reguliert werden (müssen). Weiterhin können sperrige Holzteile den Sortierprozess stören (blockieren, verhaken).

Sortierbarkeit

Für den Fall einer Zuweisung zur Wertstofftonne ist zunächst eine Zielvorgabe zu entwickeln bzw. vorauszusetzen. Angesichts des Stoffbestandes wird im Weiteren bezüglich der Aufgabenstellung an die Sortierung die Annahme getroffen, dass eine Monosorte Holz zu produzieren ist.

Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten zur selektiven Erzeugung eines Holzproduktes. Stand der Technik ist die Sortierung über automatische (sensorgestützte) Klaubung, wie sie heute bereits in der Sperrmüllaufbereitung und Gewerbeabfallaufbereitung ausgeführt ist. Angesichts des sonstigen Stoffbestandes einer Wertstofftonne wird ein automatisch erzeugtes Holzkonzentrat ergänzend einer manuellen Produktkontrolle bedürfen. Die Alternative besteht in einer rein manuellen Aussortierung, wobei diese Option an das Vorhandensein oder die Schaffung einer geeigneten Zugriffsposition gekoppelt ist.

Die praktischen Umsetzungsprobleme beider Optionen für Bestandsanlagen sind nur individuell zu klären. Die Spanne reicht hier von „bereits installiert“ über mehr oder weniger massive Eingriffe in den Bestand bis hin zur Grenze der Machbarkeit.

Sortiertechnische Umsetzbarkeit

Da das Kriterium „technische Umsetzbarkeit“ im Bestand sich sehr ähnlich auch für andere potentielle Inhaltstoffe einer Wertstofftonne darstellt, soweit sie als zusätzliche Sorte bzw. Monofraktion sortiert werden, sollen die im Einzelnen zu lösenden Anlagenmodifikationen kurz skizziert werden: (In Klammern jeweils best case; d.h. keine Anpassung erforderlich.)

- Für eine automatische Sortierung ist die Automatisierungslinie an geeigneter Stelle „aufzuschneiden“, sodass Trennstufe inkl. Zu- und Abfuhrbänder möglichst geradlinig integriert werden können. Dem Produktabzug ist ein Sortierband innerhalb der Sortierkabine nachzuschalten. (In einigen Anlagen sind entsprechende „Reservepositionen“ vorgerichtet.)
- Für eine manuelle Sortierung ist der bisherige Sortierrest über geeignete Fördertechnik in die Sortierkabine zurückzuführen (z. B. zur Produktionskontrolle in einer Reihe von Anlagen gegeben). (Anmerkung: In modernen Sortieranlagen gibt es keine durchlaufenden Sortierbänder; die mechanisch oder automatisch

erzeugten Produkte werden in Stichbändern in die Sortierkabine geführt, die oberhalb der jeweiligen Produktpuffer enden.)

- In beiden Fällen ist ein Produktabzug für das Fertigprodukt zu installieren. Während LVP-Produkte über Bunkerbänder und Großballenpressen konfektioniert werden, wird für Holz eine Containerverladung benötigt. (Eine Reihe von Anlagen verfügen über die Möglichkeit einer losen Produktverladung.)

Die Skizzierung soll insbesondere verdeutlichen, dass nachstehende Ausführungen zu Sortierkosten nicht auf Einzelfälle anwendbar sind.

Sortierkosten

Die Aussortierung und separate Bereitstellung einer Holzfraktion aus der Wertstofftonne führt gegenüber dem Status Quo zu einer Erhöhung der spezifischen Sortierkosten.

In einer Modellrechnung wurden für beide vorgenannten Varianten einer Sortierung spezifische Herstellungskosten je t Produkt sowie zusätzliche Kosten je t Sammelgemisch errechnet. In einer Investitionskostenschätzung und einer hierauf basierenden Kapitalkostenermittlung sind nennenswerte Eingriffe in den Bestand nicht berücksichtigt.

Aufgrund der stärkeren Abhängigkeit der Sortierkosten vom Anlagendurchsatz sind in Abbildung 5.11 die Ergebnisse für unterschiedliche Anlagenkapazitäten ausgewiesen. Die obere Graphik entspricht der bereits in Kapitel 4.1.2 am Beispiel der Kunststoffartensortierung kommentierten; die untere Grafik weist in gleicher Darstellungsform die Kostensituation bei rein manueller Gewinnung aus.

Neben den spezifischen Herstellungskosten je t (Holz-)Produkte (linke Skala) sind die zusätzlichen Kosten je Tonne Wertstoffgemisch (Anlageninput) auf der rechten Skalierung abzulesen. Die Situation kleiner Anlagen ist hierbei unberücksichtigt.

Je nach technischer Umsetzung und Anlagenkapazität betragen die zusätzlichen Kosten bezogen auf die Tonne Sammelgemisch 2 - 8 €.

Abbildung 5.11 Zusätzliche Sortierkosten für die automatische Holzsortierung

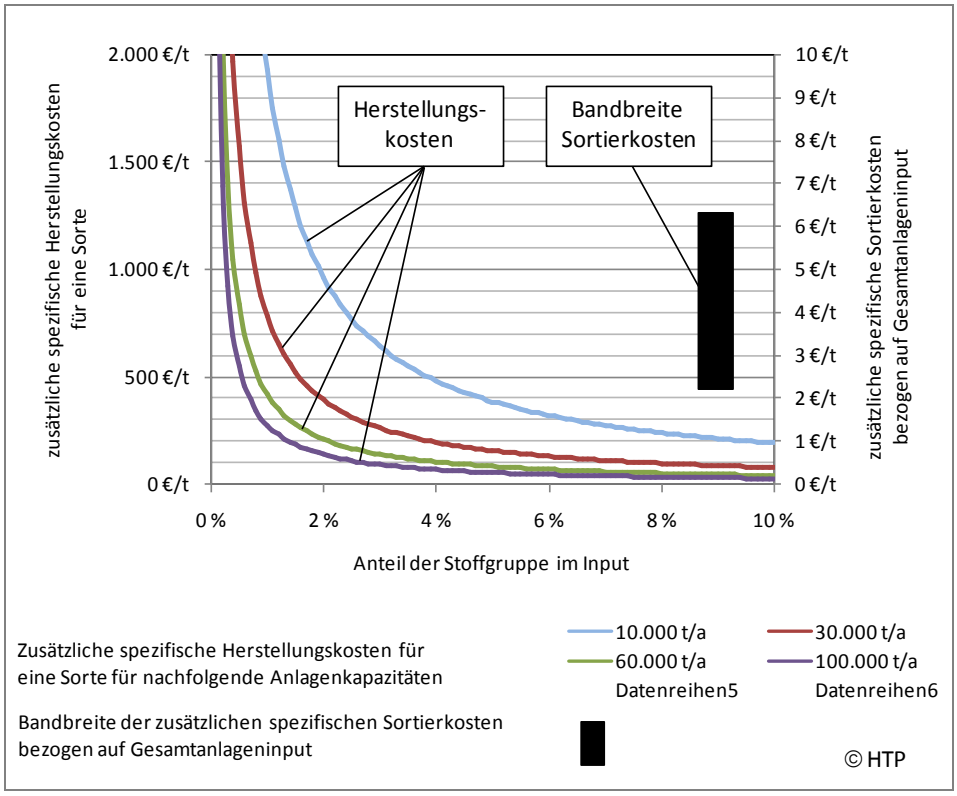
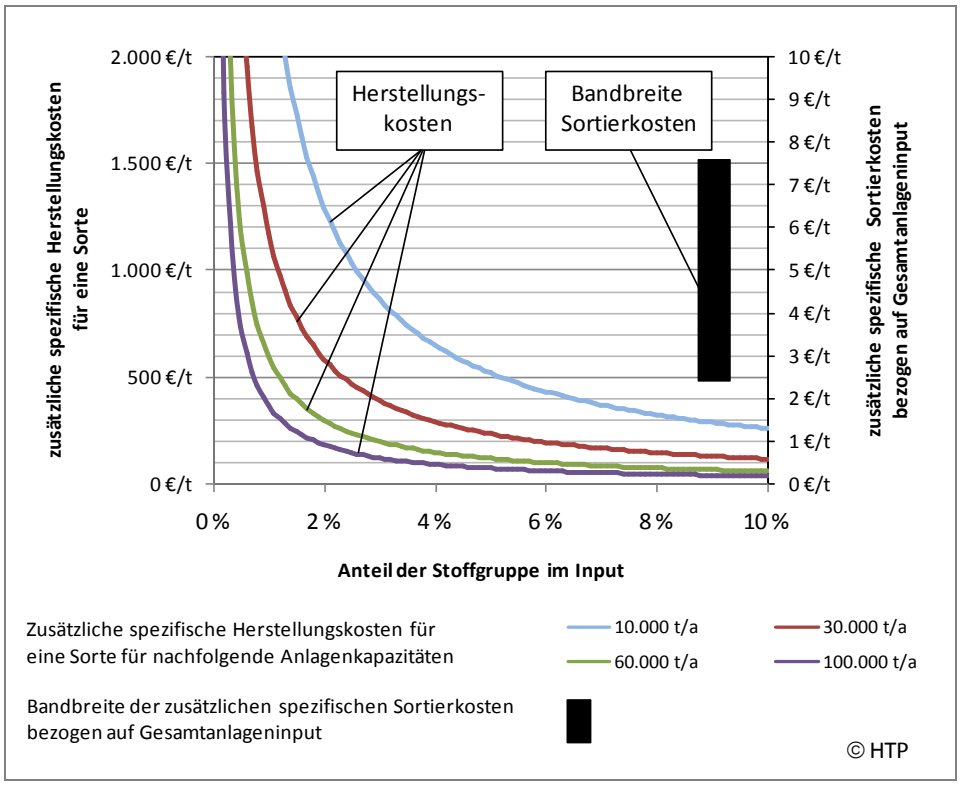


Abbildung 5.12 Zusätzliche Sortierkosten für die manuelle Holzsortierung



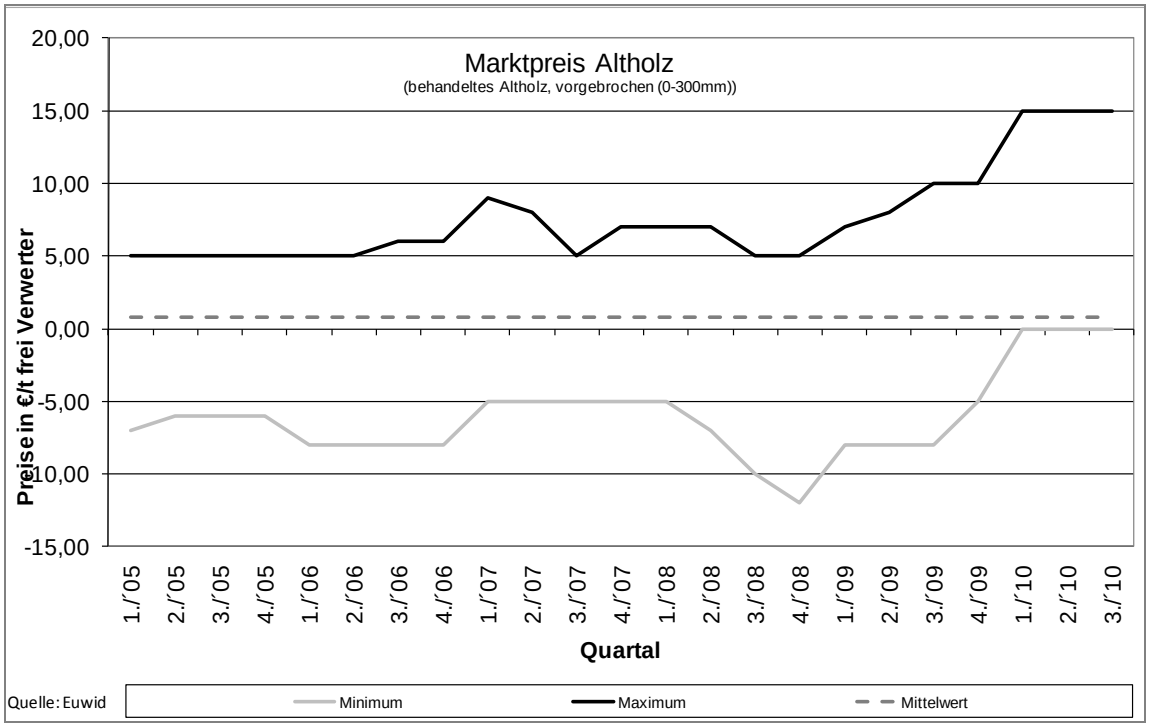
Verwertbarkeit/verwertungsspezifische Eigenschaften

Als Verwertungsoption ist für die Stoffgruppe Holz ausschließlich die energetische Nutzung zu nennen; eine stoffliche Verwertung kommt aufgrund der Art des Holzgemisches nicht in Betracht.

Werthaltigkeit

Die aussortierte Qualität wird einem der Kategorie AII/AIII nach AltholzV zu klassifizierendem Mischprodukt entsprechen. Potentielle Abnehmer sind Biomassekraftwerke. Die Erlössituation für Holzprodukte dieser Qualität wird exemplarisch anhand der Preisentwicklung der letzten fünf Jahre für die Region Nord-West dargestellt. Im Mittel betragen die Erlöse näherungsweise 1 €/t.

Abbildung 5.13 Marktpreise für Altholz



Ökologische Relevanz

Die ökologische Relevanz einer Zuweisung von Altholz zur Wertstofftonne wird durch den Abgleich zwischen zwei energetischen Nutzungsszenarien für den nachwachsenden Rohstoff Holz definiert (MVA vs. Biomassekraftwerk).

Signifikante Unterschiede in der ökologischen Bewertung sind hierfür nicht gegeben. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die mit dem Holzeinsatz verbundenen Emissionen jeweils durch die 17. BImSchV begrenzt sind. Ein etwaiger ökologischer Vorteil wäre bedingt durch einen systematisch differierenden energetischen Wirkungsgrad bzw. Energienutzungsgrad zwischen den Alternativen MVA und Biomassekraftwerke. Von solch verallgemeinerten Differenzen ist nicht auszugehen.

5.7 NStNVP aus Textilien

Definition

Unter Textilien werden die Gegenstände zusammengefasst, die aus einem Verbund von Faserstoffen (Kunst- oder Naturfasern) erzeugten Materialien bestehen. Wichtige Materialien sind Baumwolle, Wolle, Samt, Filz, Seide, Leinen und Kunstfasern. Der wichtigste Anwendungsbereich ist der Bekleidungs- und Wäschebereich. In den Haushaltungen kommen Textilien weiterhin in folgenden Anwendungsbereichen vor: Stofftiere, Decken, Segeltuch, Polster, Vorhänge, Lampenschirme und Teppiche. Die im Rahmen der Untersuchung unter dem Begriff „Textilien“ zusammengefassten Gegenstände schließen Stofftiere, Teppiche, Lampenschirme und Polster nicht mit ein.

Mengenrelevanz, Potenzial und Wertstofferfassung

Das Potenzial der erfassbaren Wertstoffmenge wird überschlägig auf 6,9 kg/E*a abgeschätzt. Dabei sind keine Mengen berücksichtigt, die heute über gewerbliche oder karitative Sammlungen erfasst werden. Unter Ansatz einer durchschnittlichen Erfassungsquote von 55 % für den Fall einer Zuweisung zur Wertstofftonne wäre ein Anstieg der spezifischen Erfassungsmenge um ca. 3,7 kg/E*a zu erwarten. Ca. 0,1 kg/E*a befinden sich heute bereits in LVP-Sammelmengen (vgl. Tabelle 4.9 und Tabelle 4.10).

Bei diesen Angaben ist zu berücksichtigen, dass sie auf Sortieranalysen basieren und Textilien bei Abfallanalysen im hohen Maß Feuchtigkeit aufgenommen haben (teilweise ein Mehrfaches des Eigengewichts), so dass die Restabfallfrachten tendenziell überbewertet sind.

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten/Verwertungspfaden

Konkurrierende Erfassungsangebote bzw. alternative Strukturen zur stofflichen Verwertung sind heute für die Textilien aus dem Bekleidungsbereich gegeben. Hier gibt es eine Vielzahl von gewerblichen und karitativen Erfassungssystemen bzw. Abgabemöglichkeiten für den Verbraucher. Für die übrigen Anwendungsbereiche bestehen heute kaum separate Erfassungsangebote.

Über gemeinnützige und gewerbliche Sammlungen werden ca. 9,15 kg/E*a zumeist über Bringsysteme erfasst. Unter Berücksichtigung der im Restabfall enthaltenen

Frachten entspricht dies einer rechnerischen Erfassungsquote von knapp 60 %. Mit dieser Ziffer dürfte der Erfassungserfolg der bestehenden Systeme allerdings deutlich unterbewertet sein, da qualitative Merkmale von Textilien im Restabfall (z. B. Feuchte) unberücksichtigt sind.

Akzeptanz zur Getrennthaltung

Nach den bisherigen Erkenntnissen differenziert der Nutzer bei der getrennten Entsorgung von Textilien zwischen Bekleidungsstücken und Textilien aus anderen Anwendungsbereichen. Die getrennte Erfassung von Bekleidung ist flächendeckend auf hohem Niveau akzeptiert. Im Fall einer Zuweisung von Textilien zur Wertstofftonne ist zu unterstellen, dass der Nutzer einen zur Monoerfassung adäquaten Verwertungsweg unterstellt und somit erhebliche Substitutionseffekte zu Lasten der Monoerfassung zu verzeichnen sein werden.

Sortierbarkeit, Sortierverhalten

Textilien weisen aufgrund ihrer Neigung zu Umwicklungen ein hohes mechanisches Störstoffpotenzial für Sortieranlagen auf. Darüber hinaus kommt es je nach Materialart zu Querkontaminationen mit automatisch sortierten Standardprodukten der LVP-Sortierung (z. B. Polyester ⇔ PET).

Eine sortenreine Trennung von Textilien ist im Rahmen der Sortierung nicht möglich, da sich Textilien über Vorkonditionierung mit anderen Komponenten verbinden. Das betrifft insbesondere größere Textilien wie Gardinen, Altkleider etc.

Verwertbarkeit, verwertungstechnische Eigenschaften

Textilien, die über eine Wertstofftonne erfasst werden, werden durch die Erfassungs- und Sortierprozesse stark verunreinigt und beschädigt. Die Wiederverwendung von Textilien aus der Gemischterfassung ist aufgrund von Querkontaminationen nicht möglich.

Die heutige EBS-Produktspezifikation schließt Textilien aus. Daher ist als möglicher Verwertungspfad für Textilien nur die energetische Verwertung über die Sortierreste darstellbar.

Ökonomische Werthaltigkeit

Ein sinnvolles Verwertungsszenario über die Miterfassung in der Wertstofftonne lässt sich nicht darstellen. Für die Bewertung werden die Kosten einer Entsorgung über die Sortierreste zugrunde gelegt, die mit 70 €/t angesetzt werden.

Ökologische Relevanz

Bei der Miterfassung von Textilien in einer gemischten Wertstofftonne kann für die Teilmenge, die aus dem Restmüll abgeschöpft werden könnte, kein hierzu alternativer Verwertungspfad aufgezeigt werden. Für diese Teilmenge wäre die ökologische Bewertung entsprechend näherungsweise neutral (MVA versus MVA).

Bei Zuweisung von Textilien zur Wertstofftonne ist aber in jedem Fall von einer Teilsubstitution der über Monoerfassung hochwertig verwerteten Altkleidersammelmenge auszugehen. Unter ökologischen Gesichtspunkten wird die Option der Erfassung von Alttextilien über die Wertstofftonne daher eindeutig negativ beurteilt.

5.8 NStNVP aus Gummi

Definition

Gummi ist ein Oberbegriff und Synonym für eine Vielzahl heute überwiegend synthetisch hergestellter Kautschuksorten (u. a. Naturlatex, Neopren), die durch Zusatz von Schwefel unter Druck und Hitze (Vulkanisierung) zu Werkstoffen mit extremer Dehnbarkeit (Elastomer) vernetzt werden. Zur weiteren Modifikation der Werkstoffeigenschaften wird häufig Ruß zugesetzt; daraus resultiert die schwarze Färbung in den Hauptanwendungsgebieten Reifen und Dichtungsmaterial. Weitere Zuschlagstoffe sind Silikate als Ersatz für Ruß bei farbigem Gummi, Farbstoffe, organische Lösemittel, Antioxidantien, etc.

Im Verpackungsbereich kommt Gummi nur selten (als Packhilfsmittel) zur Anwendung. Beispiele für NVP aus Gummi sind Reifen und Schläuche, Dichtungsringe, Luftballons, Einmachgummis, Radiergummis, Latexhandschuhe, Kondome, Schläuche, Schlauchboote, Bälle, Matten sowie geschäumte Artikel wie Vibrationsdämmmatten und Matratzen.

Mengenrelevanz, Potenzial und abschöpfbare Menge

Das Potenzial wird auf ca. 0,35 kg/E*aabgeschätzt. Unter Ansatz einer durchschnittlichen Erfassungsquote von 55 % bei Zuweisung zur Wertstofftonne wird die potentielle Erfassungsmenge in einer Größenordnung um 0,2 kg/E*a liegen (vgl. Tabelle 4.9 und Tabelle 4.10)

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten / Verwertungsstrukturen

Konkurrierende Erfassungsstrukturen für gemischte Gummiabfälle aus Haushalten existieren nicht. Ausnahme bildet die bestehende Entsorgungsinfrastruktur für Altreifen i. d. R. über Rücknahme beim Handel mit einer jährlichen Erfassungsmenge von ca. 570.000 t (7,5 kg/E*a).

Akzeptanz zur Getrennthaltung

Die Akzeptanz einer Zuweisung zum Getrennterfassungssystem durch den Nutzer kann vorausgesetzt werden. Nach den derzeitigen Erkenntnissen aus den Untersuchungsergebnissen der durchgeführten Sortieranalysen unterscheidet der Endverbraucher in der Regel Gummi von anderen Kunststoffen. Fehlbefüllungen mit Gummiabfällen sind in der derzeitigen LVP-Erfassung (anders als bei sonstigen Kunststoffen) nur ausnahmsweise zu verzeichnen.

Sortierverhalten

Gummiabfälle sind zurzeit nur in marginaler Größenordnung im LVP-Gemisch enthalten. Vereinzelt auftretende Fehlwürfe sind vorhanden und lassen sich wohl durch mangelnde Unterscheidungsmöglichkeiten in Abgrenzung zu (sonstigen) Kunststoffen z. B. bei Einweghandschuhen zurückführen. Fundierte Zahlenangaben über Aufkommen und Verbleib im LVP sind nicht verfügbar, da Gummi sortieranalytisch bei Anlagenbilanzen nicht differenziert erfasst wurde. Gummi ist aber in allen Standard-Sortierprodukten unerwünscht. Sofern im Sammelgemisch enthalten, wird es den Sortierresten zugeordnet.

Auffällig ist daneben, dass im Gemisch enthaltene „Latex“handschuhe an den zur Chlorentfrachtung von Sortierresten in einigen Anlagen eingesetzten NIR-Trennstufen,

mit denen PVC detektiert wird, ausgetragen werden (vgl. verwertungstechnische Eigenschaften).

Sortierfähigkeit

Die oben angeführte Aufzählung von Anwendungsbeispielen des Werkstoffs Gummi lässt erkennen, dass die Frage nach potentiellen Möglichkeiten einer Sortierung nicht übergreifend zu beantworten ist.

Soweit es sich um großformatige NVP handelt, ist eine selektive manuelle Aussortierung vorstellbar. Für kleinere NVP aus Gummi bedarf die Fragestellung einer empirischen Untersuchung.

Mehrere Faktoren sprechen aber gegen eine ausreichend selektive Trennbarkeit:

1. Gummi hat von seiner molekularen Zusammensetzung her keinen einheitlichen Stoffbestand. (Ausgangsstoffe des Kautschuks sind meist [teilweise chloriertes] Butadien und Styrol, aber auch Acrylat und Vinylacetat.) Ob sich nennenswerte nutzbare gemeinsame Merkmale finden lassen, ist zu untersuchen.
2. Gummi ist in vielen Standardanwendungen schwarz. Nach dem derzeitigen Standardsortierungsverfahren über Nahinfrarotreflexionsmessung also nicht detektierbar.
3. Gummi in Ringform (Einmachgummi u. ä.) ist mit der Austragstechnik automatischer Klaubesysteme nicht austragbar.
4. Ein generelles Problem betrifft alle Inhaltsstoffe mit geringer Eingangskonzentration. Automatische Trennverfahren haben immer einen gewissen Grad stochastischer Fehlausträge. Ist die Konzentration der Zielkomponente der Trennung gering, kommt es dadurch zu überdurchschnittlich hohen Verunreinigungen des Produktes.

Verwertbarkeit / verwertungstechnische Eigenschaften

Für alle Gummisorten gilt, dass diese im Gegensatz zu den Thermoplasten nicht durch Umschmelzen (Extrusion) regenerierbar sind. Bei Erwärmung zersetzt sich Gummi irreversibel zu einer klebrigen Masse; oberhalb von 170°C verbrennt es mit stark rußender Flamme.

Werkstoffliches Gummirecycling basiert daher auf Zerkleinerung zu Gummigranulat oder Gummimehl. Einsatzgebiete für Recyclingprodukte sind z. B. dämmende Unterbauschichten von Sportplätzen oder nach Verklebung der Granulate mit PU, Dämmmatten und Industriebodenbeläge oder Fallschutzmatten für Spielplätze. Ca. 20 % der heute aus Abfällen produzierten Gummigranulate können, eng klassifiziert, in entsprechende Nischenanwendungen abgesetzt werden.

Voraussetzung für stoffliches Gummirecycling sind definierter Stoffbestand, einheitliche Farbe und geringe Materialverunreinigung. Voraussetzungen wie sie bei Produktionsabfällen und eingeschränkt auch bei Aufbereitungsprodukten der Altreifenaufbereitung gegeben sind. Für ein Mischprodukt aus Gummiabfällen aus Haushalten existieren schon angesichts des Überhangs besserer Qualitäten aus den genannten Herkunftsbereichen absehbar keine Möglichkeiten der stofflichen Verwertung.

Gummiabfälle sind grundsätzlich auch für eine energetische Verwertung in Betracht zu ziehen. Als reglementierende Größe ist hier der Chlorgehalt anzuführen. Unter den Synthese-Kautschuken ist bspw. der durch Polymerisation auf Basis von Chloropren (2-Chlor-1,3-Butadien, Handelsname: Neopren) erzeugte zu erwähnen. Auf Chloropren basiertes Gummi wird z. B. für Labor-Schläuche, Stopfen oder in geschäumter Form für Surfanzüge verarbeitet. Der Chlorgehalt beträgt 35,7 Mass.-%. Chlorierte Gummisorten finden sich auch in einer Vielzahl anderer Anwendungen, so dass davon auszugehen ist, dass bei gezielter Erfassung von Gummi über eine Wertstofftonne die Chlorgehalte in Teilströmen zur energetischen Verwertung ansteigen werden.

Ökonomische Werthaltigkeit

Referenzwerte zu einem Gummi-Mischprodukt sind nicht einschlägig. Die Entsorgungskosten entsprechen den durchschnittlichen Entsorgungskosten für Sortierreste in Höhe von 70 €/t.

Ökologische Relevanz

Ein sinnvoller Verwertungsweg für Gummiabfälle aus haushaltnaher gemischter Wertstofferfassung kann nicht aufgezeigt werden. Bei Miterfassung über eine Wertstofftonne wird zunächst von einer Zuweisung zum Restestrom der Sortierung ausgegangen. Bei gleichem Entsorgungsweg ist dieser Pfad näherungsweise unter

ökologischen Aspekten mit dem des unmittelbaren Verbleibs in der Restmülltonne gleichzusetzen.

5.9 Elektrokleingeräte

Definition und Abgrenzung der möglichen Gerätearten

Die Gruppe der Elektro- und Elektronikkleingeräte ist im ElektroG nicht als eigene Geräteart, Kategorie oder Sammelgruppe benannt, sondern bei den Mengenszenarien für die Einbeziehung von „Elektrokleingeräten“ ist zu beachten, dass im Rahmen der Diskussion um eine Miterfassung dieser Mengen nicht „Elektrokleingeräte“ im Sinne der Kategorie 2 ElektroG gemeint sind, sondern vielmehr „kleine Elektrogeräte“ angesprochen sind, die insbesondere in den Sammelgruppen 3 und 5 vorkommen.

In der nachfolgenden Tabelle 5.2 sind die Gerätearten, Kategorien und Sammelgruppen gemäß ElektroG aufgeführt. Die farbig hinterlegten Gerätearten können unter den Begriff „Elektrokleingeräte“ im Sinne dieser Studie fallen.

Tabelle 5.2 Übersicht über Gerätearten, Kategorien und Sammelgruppen von Elektroaltgeräten nach ElektroG

Geräteart	Kategorie	Sammel-gruppe
Automatische Ausgabegeräte für die Nutzung in privaten Haushaltungen	10 Automatische Ausgabegeräte	1
Andere Haushaltsgroßgeräte für die Nutzung in privaten Haushaltungen	1 Haushaltsgroßgeräte	
Kältegeräte, Klimageräte, Ölradiatoren	1 Haushaltsgroßgeräte	2
„Persönliche“ Informations- und/oder Datenverarbeitung	3 Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik	3
„Persönliche“ Telekommunikationsgeräte		
„Persönliches“ Drucken von Informationen und Übermitteln gedruckter Informationen		
Kameras		
Mobiltelefone		
Datensichtgeräte		
TV-Geräte	4 Geräte der Unterhaltungselektronik	
Übrige Geräte der Unterhaltungselektronik (mit Ausnahme von TV-Geräten)		
Gasentladungslampen für die Nutzung in privaten Haushaltungen	5 Beleuchtungskörper	4
Haushaltskleingeräte für die Nutzung in privaten Haushaltungen	2 Haushaltskleingeräte	5
Werkzeuge für die Nutzung in privaten Haushalten	6 Elektrische und elektronische Werkzeuge	
Spielzeug für die Nutzung in privaten Haushalten	7 Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte	
Sport- und Freizeitgeräte für die Nutzung in privaten Haushalten		
Medizinprodukte für die Nutzung in privaten Haushalten	8 Medizinprodukte	
Überwachungs- und Kontrollinstrumente für die Nutzung in privaten Haushalten	9 Überwachungs- und Kontrollinstrumente	

Mengenrelevanz, Potenzial und Wertstofferfassung

Das aktuelle Potenzial aus dem Hausmüll an kleinformatigen Elektrogeräten, welches zusätzlich zu den heute bereits mit den LVP erfassten Altgeräten theoretisch in der Wertstofftonne erfasst werden könnte, wird überschlägig auf 2,2 kg/E*a geschätzt. Ca. 0,08 kg/E*a befinden sich heute schon in den LVP-Sammelmengen. Unter der Annahme, dass eine durchschnittliche Erfassungsquote von ca. 55 % erreicht werden könnte, wird ein Anstieg der spezifischen Erfassungsmenge um ca. 1,2 kg/E*a erwartet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Menge der in Verkehr gebrachten kleinen Elektrogeräte in den letzten Jahren deutlich zugenommen hat und daher das Potenzial in den nächsten Jahren weiter ansteigen wird.

Darüber hinaus bestehen weitere Potenziale durch eine Verlagerung aus den unten beschriebenen Erfassungsangeboten und aus der vorübergehenden Lagerung von nicht mehr nutzbaren Altgeräten bei Konsumenten. Dieses Potenzial ist jedoch nicht quantifizierbar.

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten/ Verwertungsstrukturen

Auf der Basis des ElektroG werden Elektrokleingeräte durch den örE erfasst. Die Sammlung erfolgt in den Sammelgruppen 3 und 5 in der Regel in Bringsystemen. Ab Übergabestelle sind die Hersteller für die Übernahme und Verwertung der Elektroaltgeräte und die Dokumentation zur Entsorgung verantwortlich. Die Abholkoordination erfolgt durch die Stiftung elektro-altgeräte register (Stiftung ear). Der Aufbau dieses Systems und die Ablauforganisation sind inzwischen etabliert.

Ein geringer Anteil der Sammelmengen aus den Sammelgruppen 3 und 5 wird in Eigenrücknahme von den Herstellern und Vertreibern erfasst. Diese Mengen bleiben bei der weiteren Diskussion unberücksichtigt, da sie für ein flächendeckendes Erfassungssystem nicht zur Verfügung stehen.

In der nachfolgenden Tabelle 5.3 sind die Mengen an Elektroaltgeräten aufgeführt, die von der Bundesregierung an die EU-Kommission gemeldet worden sind. Diese Mengen werden heute schon separat erfasst und nicht über den Restmüllpfad entsorgt.

Tabelle 5.3 Meldung der Bundesregierung über die im Jahr 2008 in Verkehr gebrachte Menge an Elektroaltgeräten und die nach ElektroG gesammelte Menge an Elektroaltgeräten

	Spalte Nr.	1	2	3	4
KOM-Tabelle 1 (2008)		In Verkehr gebracht	Gesammelte Menge		
			B2C	B2B	Insgesamt
Kat.	Produktkategorie	Gesamtgewicht (t)	Gesamtgewicht (t)	Gesamtgewicht (t)	Gesamtgewicht (t)
1	Haushaltsgroßgeräte	673.297	245.119	15.150	260.269
2	Haushaltskleingeräte	148.341	81.284	1.507	82.791
3	IT- Und Telekommunikationsgeräte	319.983	136.952	18.055	155.007
4	Geräte der Unterhaltungselektronik	392.952	140.173	6.119	146.292
5	Beleuchtungskörper	75.386	0	249	249
5a	Gasentladungslampen	30.246	8.813	134	8.948
6	Elektrische und elektronische Werkzeuge	144.969	20.232	1.535	21.767
7	Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte	35.867	5.060	2.674	7.734
8	Medizinische Geräte	35.658	1.374	2.011	3.385
9	Überwachungs- und Kontrollinstrumente	14.381	1.433	344	1.777
10	Automatische Ausgabegeräte	12.465	1.847	3.710	5.557
		1.883.545	642.287	51.488	693.776
	Summe	**1.883.544**	**642.287**	**51.488**	**693.775**

B2B = Business-to-Business, B2C = Business-to-Consumer

Quelle: BMU 2010 (b)

Die Stiftung ear hat die Zusammensetzung der über die Abholkoordination bei den örE erfassten Mengen an Elektroaltgeräten regelmäßig analysieren lassen (ear 2010). Die Ergebnisse zur Zusammensetzung der Sammelgruppen 3 und 5 sind in Tabelle 5.4 und Tabelle 5.5 aufgeführt. Die mengenmäßig relevanten Gerätearten sind grau hinterlegt.

Tabelle 5.4 Zusammensetzung Sammelgruppe 3

Ergebnisse der statistischen Analyse im ear-System ab:			24.03. 2006	01.01. 2007	01.01. 2008	01.03. 2009	01.01. 2010
Kategorie	Nr.	Geräteart	Anteil %	Anteil %	Anteil %	Anteil %	Anteil %
Geräte der Informations- und Telekommunikations-technik	3	Persönliche Informations- und/oder Datenverarbei-tung	12,0	12,0	10,8	8,7	9,4
	3	Persönliches Drucken von Informationen und Übermittlung gedruckter Informationen	11,0	11,0	9,5	10,0	9,5
	3	Persönliche Kommunikati-onsgeräte	1,8	1,8	0,7	1,0	0,7
	3	Mobil-Telefone	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3
	3	Datensichtgeräte	20,0	20,0	22,3	24,1	26,4
	3	Kameras (Photo)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Geräte der Unterhaltungs-elektronik	4	TV-Geräte	45,0	45,0	42,8	41,4	40,2
	4	Übrige Geräte der Unterhaltungselektronik (mit Ausnahme von TV-Geräten)	10,0	10,0	13,7	14,3	13,4
Gesamt			100	100	100	100	100

Quelle: ear, Oktober 2010

Tabelle 5.5 Zusammensetzung Sammelgruppe 5

Ergebnisse der statistischen Analyse im ear-System ab:			24.03. 2006	01.01. 2007	01.01. 2008	01.03. 2009	01.01. 2010
Kategorie	Nr.	Geräteart	Anteil %	Anteil %	Anteil %	Anteil %	Anteil %
Haushaltskleingeräte	2	Haushaltskleingeräte	84,00	84,00	77,70	66,39	61,07
Elektrische und elektron. Werkzeuge mit Ausnahme ortsfester industrieller Großwerk-zeuge	6	Werkzeuge	14,50	14,50	19,40	25,08	32,88
Spielzeug, Sport- und Freizeitgeräte	7	Spielzeug	0,50	0,50	0,95	3,10	2,13
	7	Sport- und Freizeitgeräte	0,50	0,50	0,55	1,88	1,48
Medizinprodukte mit Ausnahme implantierter und infektiöser Produkte	8	Medizinprodukte	0,25	0,25	0,75	1,64	1,35
Überwachungs- und Kontrollinstrumente	9	Überwachungs- und Kontrollinstrumente	0,25	0,25	0,65	1,91	1,09
Gesamt			100	100	100	100	100

Quelle: ear, Oktober 2010

Die Zusammensetzung der Elektrokleingeräte aus Sammlungen der Wertstofftonne in den Modellregionen Leipzig und Berlin weichen von der Zusammensetzung der Mengen aus Bringsystemen der örE ab. In Berlin und Leipzig wurden 2006 (mit Inkrafttreten des ElektroG) Untersuchungen zur Zusammensetzung der über die Gelbe Tonne plus erfassten Elektro- und Elektronikaltgeräte durchgeführt (cyclos 2006 im

Auftrag der ALBA GmbH). Danach setzten sich die erfassten Mengen überwiegend aus fünf Gerätearten zusammen. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 5.6 zusammengefasst.

Wie zu erwarten, lag in den Wertstofftonnen-Modellprojekten der Schwerpunkt auf den kleinen tonnengängigen Geräten, wie Haushaltskleingeräte, Geräte der persönlichen Datenverarbeitung und der Unterhaltungselektronik, während in den ElektroG-Sammelmengen größere Geräte wie Datensichtgeräte, TV-Geräte und Werkzeuge anteilsmäßig stärker vertreten sind.

Tabelle 5.6 Übersicht über die innere Verteilung der Elektroaltgeräte in der Gelben Tonne Plus in Berlin und Leipzig im Jahr 2006

Geräteart	Kate-gorie	Sammel-gruppe	Ergebnisse aus Berlin Anteile	Ergebnisse aus Leipzig Anteile
Haushaltskleingeräte	2	5	36,47 %	44,20 %
Persönliche Datenverarbeitung	3	3	22,96 %	15,09 %
Persönliches Drucken von Daten und Übermitteln gedruckter Daten	3	3	8,05 %	8,26 %
Persönliche Kommunikationsgeräte	3	3	2,67 %	1,51 %
Mobiltelefone	3	3	0,13 %	0,10 %
Datensichtgeräte	3	3	1,34 %	0,71 %
Kameras	3	3	0,20 %	0,13 %
TV-Geräte	4	3	0,97 %	0,00 %
Übrige Geräte der Unterhaltungselektronik	4	3	13,60 %	19,86 %
Werkzeuge für die Nutzung in privaten Haushalten	6	5	3,60 %	5,53 %
Spielzeug für die Nutzung in privaten Haushalten	7	5	1,67 %	2,14 %
Sport- und Freizeitgeräte	7	5	0,00 %	0,00 %
Medizinprodukte für die Nutzung in privaten Haushalten	8	5	1,37 %	0,87 %
Überwachungs- und Kontrollinstrumente	9	5	0,12 %	0,61 %
Haushaltsgroßgeräte	1	1	6,85 %	0,99 %
Kühlgeräte	1	2	0,00 %	0,00 %
Gasentladungslampen	5	4	0,00 %	0,00 %
			100 %	100 %
Summe der Anteile aus Sammelgruppe 5			**43,23 %**	**53,35 %**
Summe der Anteile aus Sammelgruppe 3			**49,92 %**	**45,66 %**

Quelle: cyclos 2006

Anhand begleitender Restabfallanalysen konnte aufgezeigt werden, dass in den Modellvorhaben mit dem Erfassungsangebot über die Wertstofftonne behältergängige

Elektrogeräte wirksam in den Pfad der Wertstofferfassung umgelenkt werden konnten. Vergleichbarer positiver Erfassungserfolg stellte sich auch im Hamburger Pilotvorhaben ein. Einheitlich wird also in allen Pilotvorhaben zur Wertstofftonne eine ausschließliche Verlagerung aus dem Restabfall angenommen. Einschränkend ist aber anzumerken, dass alle Pilotvorhaben vor oder mit Inkrafttreten des ElektroG gestartet wurden. Die Untersuchungsergebnisse geben daher keinen Aufschluss darüber, inwieweit eine Konkurrenzsituation zwischen Wertstofftonne und Erfassung über Bringsysteme bei konsequenter Umsetzung der Vorgaben des ElektroG zu verzeichnen ist.

Für den Fall einer Zuweisung von Elektrokleingeräten zur Wertstofftonne ist zu unterstellen, dass die im Bringsystem erfassten Teilmengen überwiegend ins Holsystem überführt würden.

Die Ergebnisse in Tabelle 5.3 legen nahe, dass für Elektrokleingeräte über ein niedrig verdichtetes Bringsystem nur vergleichsweise geringe Erfassungsquoten zu erzielen sind. Hiervon gehen auch andere fachlich begleitende Institutionen aus (s. a. ATUS 2009).

Relevant erscheint auch der mögliche Fehleintrag von größeren Geräten anderer Kategorien angesichts mangelnder transparenter Abgrenzungsmöglichkeiten durch den Nutzer. Solche Fehleinträge waren allerdings nach den Messergebnissen zu den bisherigen Versuchen auch nur ausnahmsweise zu verzeichnen (vgl. Tabelle 5.6 und ATUS 2009).

Eine Verallgemeinerung dieser Feststellungen ist allerdings in Anbetracht des relativ begrenzten Untersuchungsrahmens nicht vorbehaltlos gegeben.

Akzeptanz zur Getrennthaltung

Aus den unterschiedlichen statistischen Erhebungen zum Inverkehrbringen von Neugeräten und Erfassung von Elektroaltgeräten nach ElektroG lässt sich ableiten, dass in beiden relevanten Sammelgruppen nur ein geringer Anteil an Elektrokleingeräten tatsächlich über die angebotenen Bringsysteme erfasst wird. Dadurch kommt es noch zu nennenswerten Einträgen in den Restmüll. Diese stellen das Potenzial für die Wertstofftonne dar.

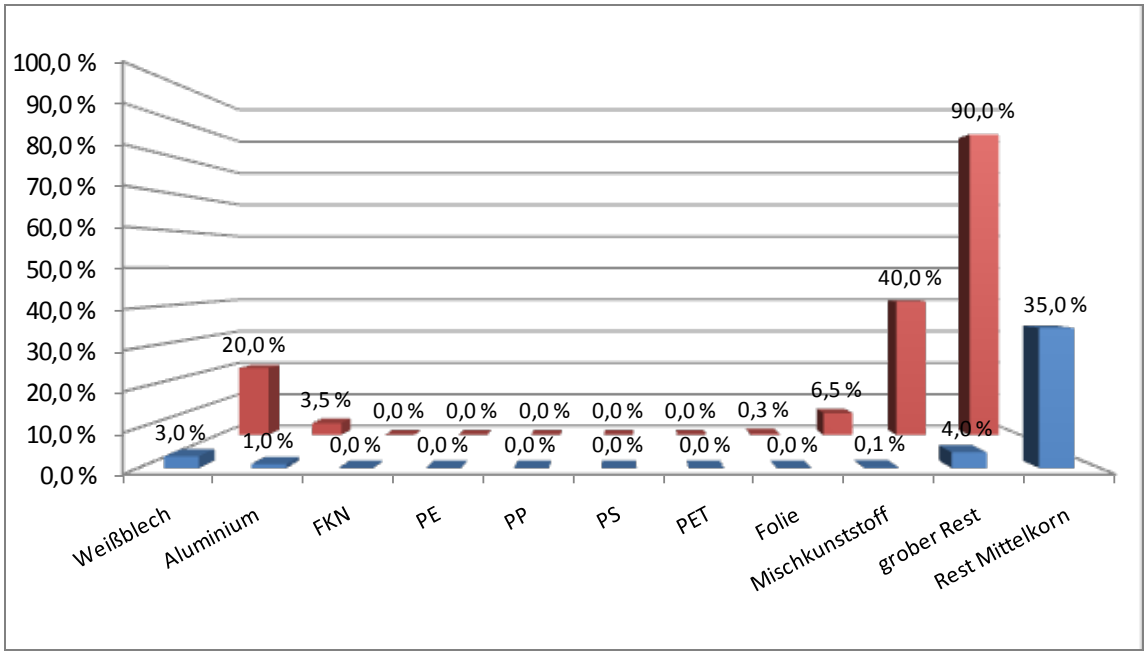
Prinzipiell ist von einer Akzeptanz der Konsumenten zur Nutzung der Wertstofftonne für die Erfassung von Elektrokleingeräten auszugehen.

Sortierbarkeit, Sortierverhalten

Zur Beschreibung des Verhaltens von Elektroaltgeräten in einer LVP-Sortieranlage wurden Bilanzierungsdatensätze aus eigenen Untersuchungen aus vier unterschiedlichen Anlagen im Hinblick auf den Verbleib von Elektrokleingeräten im konventionellen Sortierprozess ausgewertet.

Abbildung 5.14 zeigt die Ergebnisse. Dargestellt ist das Ausbringen (d. h. die prozentuale Verteilung der im Input enthaltenen Elektrogeräte) in einzelne Output- bzw. Zwischenproduktströme. Auf die Ausweisung von Mittelwerten wurde verzichtet; stattdessen sind jeweils festgestellte Minimum- und Maximumwerte dargestellt. Die Anlagen waren nicht auf die Aufkonzentration von Elektrogeräten parametriert. Um zu einer vereinheitlichten Darstellung zu kommen, wurden die im Einzelnen etwas unterschiedlichen Produktfächer auf einheitliche Betriebspunkte rückgerechnet. So sind bspw. manuell entnommene Elektrogeräte, die in den Grobschrott sortiert wurden, rechnerisch dem groben Restestrom zugewiesen worden.

Abbildung 5.14 Verteilung von Elektrokleingeräten auf die Teilströme einer LVP-Sortierung in vier Anlagen, angegeben sind die Minimal- und die Maximalwerte



Angesichts des Stoffbestandes von Elektroaltgeräten in Verbindung mit den in der LVP-Sortierung genutzten physikalischen Trennmerkmalen sowie der spezifischen Maschinenparametrierung zeigen sich überwiegend erklärliche Effekte.

Zunächst ist festzustellen, dass systematische Fehleinträge in die Sorten Folien, Flüssigkeitskartons, PE, PP, PS und PET nicht zu verzeichnen sind.

Geringe Einträge in den Mischkunststoffpfad sind systematisch durch die Detektion des Kunststoffgehäuses zu erklären. (Regulierende Maßnahmen zur Unterdrückung wären Druckreduzierung der Austragsdüsen und Ausblenden von ABS.)

Auf den ersten Blick überraschend ist der geringe Anteil, der über die Wirbelstromscheidung in die NE-Fraktion überführt wird. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass das auf Induktion beruhende Trennungsprinzip nur vergleichsweise geringe auslenkende Kräfte hervorruft. Idealvoraussetzungen für eine Abtrennung bieten flächige, leichte Komponenten aus elektrisch leitenden Materialien in sehr geringer Distanz zum Rotor, dessen Wechselmagnetfeld Induktion und Abstoßung leitender Teile bewirkt. Komplette Elektrogeräte sind weit entfernt von dieser Idealvoraussetzung.

Die über Magnetscheidung ausgetragenen Anteile bewegen sich teils in erheblicher Größenordnung. Fast alle Elektrogeräte besitzen ferromagnetische Bauteile. Ausschlaggebend für das Trennverhalten ist materialseitig deren Anteil im Verhältnis zum Gesamtgewicht des Gerätes. (Ein leichtes Audiogerät mit Blechgehäuse bringt hier gänzlich andere Voraussetzungen mit als eine Kaffeemaschine oder ein Trennschleifer.)

Am stärksten reichern sich die Elektrogeräte in den Durchgängen (in der Graphik als Sortierreste bezeichnet) der Sortierlinien (Grob- und Mittelgut) an.

Im Hinblick auf eine mögliche Aussortierung von Elektroaltgeräten in LVP-Sortieranlagen ist anzumerken, dass der Grobgutstrom in allen angeführten Anlagen für eine manuelle Sortierung zugänglich ist. Im Mittelgut muss in der Regel eine technische Lösung nachgerüstet werden. Die Alternativen sind vergleichbar mit denen im Kapitel 5.6 zu Holzaussortierung bereits näher ausgeführten.

D. h. es bestehen folgende Möglichkeiten:

- manuelle Aussortierung aus dem Durchgang der zurzeit letzten automatischen Trennstufe
  und/oder
- automatische Aussortierung über multisensorische Trennstufe mit anschließender manueller Nachsortierung des automatisch erzeugten Vorproduktes.

Vom Grundsatz her ist anzunehmen, dass für die Sortieranlagen hoher Kapazität die 2. Variante aus betriebswirtschaftlichen Gründen vorteilhafter ist. Bezüglich der Randbedingungen einer Implementierung in den Anlagenbestand wird ebenfalls auf die Ausführungen in Kapitel 5.6 verwiesen.

Im Zusammenhang mit einer Diskussion des Sortierverhaltens von Elektrokleingeräten ist auch das Potenzial hierdurch ausgelöster Betriebsunterbrechungen mit entsprechender Reduzierung der Anlagenverfügbarkeit zu erwähnen. Auslöser sind Stecker, die sich bei den mechanischen Förderprozessen z. B. an rechtwinkligen Übergaben der Gurtförderer verfangen können. Bei dem sehr leichten, voluminösen Förderstrom kommt es am Gerät zum Materialstau und im Weiteren zu Verstopfungen, die manuell beseitigt werden müssen. An drehenden Maschinenteilen kann es auch zu Umwicklungen kommen. Relativierend ist festzustellen, dass vergleichbare Effekte auch durch andere Inhaltstoffe wie Netze oder Bänder ausgelöst werden. Inwieweit im Einzelnen eine relevante Beeinträchtigung der Anlagenverfügbarkeit auftritt, hängt von ausführungstechnischen Details oder auch von betriebsorganisatorischen Maßnahmen ab (technische Anlagenverfügbarkeiten bewegen sich je nach Ausführungsstand etc. im Bereich von 80 - 97 %). In der Sortieranlage Leipzig besteht durch die flächendeckende Einführung der Gelben Tonne plus im Stadtgebiet langjährige Erfahrung bezüglich der Relevanz dieses Phänomens. Der kampagnenweise Betrieb (bei einer separaten Verarbeitung des Sammelgemisches aus Leipzig) ermöglicht auch den unmitttelbaren Abgleich zu den Betriebsverhältnissen bei LVP-Verarbeitung aus anderen Herkunftsgebieten. Nach Auskunft des Betreibers (Rantzsch, 2010) sind keine Unterschiede in der Anlagenverfügbarkeit bei Verarbeitung von Sammelware mit oder ohne Elektrogeräte zu verzeichnen.

Materialbeanspruchung der Elektroaltgeräte bei der Erfassung und der Sortierung

Unvermeidbar sind bei Miterfassung von Elektrogeräten über ein gemischtes Holsystem als Folge der logistischen Prozesse von Erfassung, Umschlag, Aufgabe in der Sortieranlage und der mechanischen Materialbeanspruchung in der Sortierung partielle Deformation bis hin zum Gehäusebruch je nach Art und Ausführung des Elektrogerätes. Relevant sind hierbei folgende Teilvorgänge:

- Druckbeanspruchung bei der Einsammlung durch Verdichtung im Sammelfahrzeug auf ca. 250 kg/m³,
- Druckbeanspruchung beim Materialumschlag und –teilung (körperliche Aufteilung auf Systembetreiber) durch punktuelle Verdichtung (z. B. durch Bagger) zur Erreichung von optimierten Ladegewichten
- Schlagbeanspruchung in der Sortieranlage (insbesondere im Rahmen Primärabsiebung bei Fallhöhe von 2 m).

Insbesondere für größere und bruchempfindliche Geräte ist daher die Miterfassung über das Holsystem ungeeignet.

Die grundsätzliche Sortierbarkeit von Elektrokleingeräten aus dem Gemisch wird durch diese mechanische Beanspruchung und Teilzerstörung nach derzeitiger Erkenntnislage zwar nicht wesentlich beeinträchtigt.

Jedoch ist in Anbetracht des Gerätezustandes nach der Sortierung eine Wiederverwendung der Geräte von vornherein ausgeschlossen.

Die manuelle Demontierbarkeit schadstoff- und auch wertstoffhaltiger Bauteile (wie z.B. quecksilberhaltige Bauteile oder Leiterplatten) für eine gezielte Entfrachtung bzw. hochwertige Verwertung kann beeinträchtigt werden.

Weiterhin stellt sich aber die Frage nach einer potenziellen Schadstoffkontamination z. B. durch schwermetallhaltige Bauteile der Elektroaltgeräte. Ein Gefahrenpotenzial kann durch den Eintrag lithiumhaltiger Batterien nicht ausgeschlossen werden. Diese könnten eine Brandgefahr im kunststoffreichen LVP-Gemisch darstellen.

Da keine unmittelbare Korrelation zwischen Flammschutzausrüstung durch Bromierung und Kunststoffart besteht und Bromverbindungen über NIR-Spektrometrie nicht

identifizierbar sind, besteht mit dem derzeitigen Instrumentarium der LVP-Sortierung nur eine mittelbare geringe präventive Option durch gezieltes Unterdrücken von ABS. Ein gesichertes quantitatives Ausblenden setzte die Auswechslung der kollektiven NIR-Trennstufe für Kunststoffarten gegen einen multisensorischen Trenner mit Röntgenscanner voraus, womit sich bromierte Kunststoffe selektiv identifizieren lassen. Der Bedarf einer derartigen Anpassung der Anlagentechnik ist zurzeit ungeklärt, da Untersuchungen zur Relevanz der skizzierten Problemstellung bislang nicht durchgeführt wurden.

Sortierkosten

Die Abschätzung zusätzlicher Sortierkosten bei Miterfassung von Elektrokleingeräten bedarf der Formulierung eines technischen Konzeptes mit konkreten quantitativen Vorgaben. Bei den weiteren Ausführungen wird unterstellt, dass eine Mindestsortierquote von 80 % sicherzustellen ist.

Die Möglichkeiten und Randbedingungen einer Aussortierung von Elektrogeräten aus Grob- und Mittelgut nach Klassierung, Windsichtung und Magnetscheidung sind vergleichbar mit denen, die bereits im Kapitel 5.6 zu Holz ausgeführt sind (d. h. manuelle Sortierung oder deren Kombination mit sensorgestützter Sortierung).

Vergleichbar sind auch die Kosten für die einzelnen Varianten bei isolierter Betrachtung. Kostenunterschiede für die etwas andere Ausführung der Sensorik (hier: Multisensorik) bei automatischer Sortierung sind wegen Geringfügigkeit im Rahmen einer überschlägigen Schätzung zu vernachlässigen.

Die spezifischen Zusatzkosten (Investitions- und Betriebskosten) lassen sich entsprechend auf ca. 2 € bis 8 € je t Wertstoffgemisch veranschlagen.

Nicht berücksichtigt sind hierin Zusatzmaßnahmen zur eventuellen Kompensation von Einträgen ins Fe-Schrottprodukt. (LVP-Sortieranlagen verfügen in der Regel nicht über die Möglichkeit, das Fe-Produkt nachzusortieren. Durch die frühe Anordnung der Magnetscheider im Sortierverfahren wären entsprechende Nachrüstungen mit komplexen Umbaumaßnahmen verbunden.)

Verwertbarkeit, verwertungsspezifische Eigenschaften

Verwertungsstrukturen für Elektrokleingeräte sind vorhanden. Die Aufbereitung erfolgt zurzeit in spezialisierten Anlagen im Wesentlichen mit dem Ziel einer möglichst

quantitativen Rückgewinnung der einzelnen Metalle. Kunststoffe werden im Wesentlichen einer energetischen Verwertung zugeführt. Verfahren zur Abtrennung bromierter Kunststoffe sowie zur selektiven Rückgewinnung einzelner Kunststoffsorten sind in Entwicklung bzw. Erprobung.

Ob es eine Beeinträchtigung der Verwertung anderer Sortierprodukte durch potenzielle Querkontamination geben könnte ist bis dato nicht untersucht. Aus den Modellregionen Berlin und Leipzig, in denen Elektroaltgeräte in der Wertstofftonne miterfasst werden, sind keine entsprechenden Probleme bekannt.

Ökonomische Werthaltigkeit

Aufgrund seines Metallgehaltes insbesondere an NE-Metallen hat das Sortierprodukt einen, wenn auch geringen, positiven Marktwert. Angesetzt wird eine mittlere Erlöserwartung von 50 €/t (eigene Recherchen).

Ökologische Relevanz

Das Öko-Institut hat im Rahmen einer Studie für die Stadt Hamburg ökobilanzielle Daten zur Verwertung von Elektrokleingeräten mit Bezug zum Modellversuch der Hamburger Wertstofftonne zusammengestellt (Dehoust u.a. 2008).

Für aussortierte Elektrokleingeräte wurden folgende spezifischen Faktoren als Gutschriften für eingesparte Primärherstellung angesetzt:

- Kumulierter Energieaufwand (KEA): $49 * 10^3$ kJ/t
- Treibhauseffekt: $2{,}6 * 10^3$ kg CO_{2eq}/t

Nur qualitativ vermerkt wird der positive Effekt durch den verringerten Schwermetalleintrag in die MVA. Die Erfassung von Elektroaltgeräten in der Wertstofftonne ist entsprechend vorteilhaft gegenüber der Entsorgung mit dem Restmüll.

Anders dürfte der Vergleich mit der getrennten Sammlung und Verwertung von Elektroaltgeräten aus der separaten Sammlung ausfallen, da es bei einer Miterfassung in der Wertstofftonne zu Querkontaminationen kommen kann und die Demontagefähigkeit beeinträchtigt wird (siehe oben).

Machbarkeit und Kosten einer „Sack in Behälter-Erfassung“:

Wegen befürchteter Querkontaminationen durch frei werdende Komponenten, aber auch zur generellen Vereinfachung der Sortierung, wird zurzeit als eine mögliche Option diskutiert, die Erfassung von Elektrogeräten über ein „Sack im Behälter-System“ durchzuführen. Dies würde bedeuten, dass Elektroaltgeräte in einem z. B. farbig eindeutigen Beutel/Sack innerhalb der Wertstofftonne gesammelt würden und diese Säcke vor dem Hauptsortierprozess separiert würden. Für Batterien wird dies ebenfalls zur Diskussion gestellt.

Die Beurteilung der Sinnhaftigkeit einer solchen Variante bedarf der Erörterung auf vielen Ebenen.

Exemplarisch seien angeführt:

- In welchem Maße kann die Nutzung eines ergänzenden Sacksystems (bei gleichzeitiger Möglichkeit einer losen Beschickung der Gefäße oder Nutzungsmöglichkeit anderer Gebinde) unterstellt werden?
- Elektroaltgeräte sind teilweise scharfkantig; wie sind die Säcke auszuführen?
- Die mechanischen Beanspruchungen beim Laden, im Sammelfahrzeug und bei Kipp-, Press- und Umschlagvorgängen sind hoch. In welchem Maß kommt es zur Beschädigung der Gebinde?
- Praktikabilität und Kosten einer Vorsortierung.

An dieser Stelle soll lediglich auf den Einzelaspekt „Aussortierung von kleinen farbig gekennzeichneten Sammelsäcken“ differenzierter eingegangen werden.

Im Hinblick auf den Anlagenbestand an LVP-Sortieranlagen ist zunächst festzustellen, dass die erste Prozessstufe generell in einer Gebindeöffnung besteht. Stand der Technik ist hier eine zweistufige Ausführung, die sicherstellt, dass auch kleine Gebinde, wie zugeknotete 10 l-Beutel u. ä., aufgerissen werden. Dies ist zwingende Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit der Sortierung.

Die Abtrennung von Sammelgebinden innerhalb bestehender Sortierprozesse ist also nicht darstellbar; ein Sack im Behälter-System bedarf eines vorgelagerten Bausteins. Eine online-Verknüpfung eines entsprechenden Vorsortiermoduls in Bestandanlagen

ist allenfalls in Ausnahmefällen für Anlagen mit geringen Durchsätzen und entsprechenden baulichen Voraussetzungen darstellbar.

(Hypothetische Beispielrechnung für die Belegungshöhe eines Vorsortierbandes bei

$\dot{m}$ = 20 t/h

Basisdaten: max. zul. Breite 1,2 m; max. zulässige Bandgeschwindigkeit 0,167 m/s

Schüttdichte: 40 kg/m³;

⇒ Belegungshöhe h = 0,7 m.

Die rechnerische Belegungshöhe übersteigt die praktisch anzusetzende um mehr als Faktor 10.)

Szenarien einer Variante „Sack in Behälter“ für Elektrokleingeräte in der Wertstofftonne bedürfen daher der Berücksichtigung eines funktionalen in der Regel auch örtlich von der eigentlichen Wertstoffsortierung getrennten Zusatzbausteins (z. B. an den heutigen Umschlaganlagen).

Kosten einer Vorsortierung bei einer Sack in Behälter-Erfassung der Elektrokleingeräte

Überschlägig wurden auch die Kosten einer einfachen Vorsortierung für die Entnahme bei einer „Sack in Behälter-Erfassung“ errechnet.

Unter der Annahme, dass diese im Einschicht-Betrieb durch Handsortierung an vorhandenen Umschlaganlagen mit einem Durchsatz von ca. 2 t/h darstellbar ist, ergeben sich Betriebskosten von ca. 47 € je t, bezogen auf das gesamte Sammelgemisch (100 % Inputmenge).

Grundlage der modellhaften Kostenberechnung sind der Anlage 2 zu entnehmen.

5.10 Batterien

Definition

„Batterien“ sind gemäß § 2 Abs. 2 BattG „aus einer oder mehreren nicht wiederaufladbaren Primärzellen oder aus wiederaufladbaren Sekundärzellen bestehende Quellen elektrischer Energie, die durch unmittelbare Umwandlung chemischer Energie gewonnen wird.“. Damit sind auch die Akkumulatoren (Akkus) unter dieser Definition erfasst.

„Gerätebatterien“ sind Batterien, die gekapselt sind und in der Hand gehalten werden können. Fahrzeug- und Industriebatterien sind keine Gerätebatterien“ (§ 2 Abs. 6 BattG). Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf Gerätebatterien.

Mengenrelevanz, Potenzial und Wertstofferfassung

2009 wurden in Deutschland von den Herstellern, die dem Gemeinsamen Rücknahmesystem GRS Batterien angeschlossen sind, knapp 32.000 t Gerätebatterien in Verkehr gebracht (GRS Batterien 2010). Die Gesamtmasse aller in Deutschland in Verkehr gebrachten Gerätebatterien dürfte nur geringfügig darüber liegen (GRS Batterien 2010). Nach Angaben von GRS Batterien hat die Stiftung einen Marktanteil von über 80 %. Die Mengen teilen sich wie folgt auf:

AlMn / ZnC	24.991 t
Zn-Luft	19 t
Li primär	224 t
Knopfzellen (alle elektrochemischen Systeme)	447 t
Li Ion	3.117 t
NiMH	1.821 t
NiCd	692 t
PB	645 t

2009 wurden über das Gemeinsame Rücknahmesystem GRS Batterien 14.404 t gebrauchte Batterien und Akkus zurückgenommen, das entspricht einer Masse von 0,181 kg/E oder einer Sammelquote von 44 %. Entsprechend gelangte in etwa die

gleiche Menge der Gerätebatterien in den Restmüll oder in andere ungeklärte Entsorgungswege und stellt damit das Potenzial für die Wertstofftonne dar.

Nach verschiedenen Hausmüllanalysen (GRS Batterien 2004 und 2008) beträgt der Anteil Batterien im Hausmüll ca. 0,03 %. Damit läge das Potenzial der zusätzlich erfassbaren Batterien bei ca. 4.000 t/E*a (Statistisches Bundesamt 2010/b). Aus anderen Restmüllanalysen ergibt sich ein höheres Potenzial in einer Größenordnung von ca. 0,05 bis 0,1 kg/E*a (siehe hierzu Tabelle 4.9 und Tabelle 4.10).

Konkurrenzsituation zu bestehenden Erfassungsangeboten/Verwertungspfaden

Altbatterien werden über das gemeinsame Rücknahmesystem GRS Batterien und die herstellereigenen Rücknahmesysteme (CCR Rebat, ÖcoReCell, ERP) bundesweit flächendeckend in über 150.000 Sammelstellen bei Vertreibern, gewerblichen Endverbrauchern, öffentlichen Einrichtungen und öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zurückgenommen. Dieses Sammelsystem hat sich seit Ende der 1990er Jahre in Deutschland etabliert und erreicht seit mehreren Jahren Sammelquoten von über 40 %. Rechtliche Basis bildet die EU-Batterierichtlinie 2006/66/EG und das deutsche Batteriegesetz. Nach den Vorschriften des Batteriegesetzes sind die Endnutzer verpflichtet, Altbatterien einer vom unsortierten Siedlungsabfall getrennten Erfassung zuzuführen.

Akzeptanz zur Getrennthaltung

Nach den bisherigen Erkenntnissen ist die Akzeptanz durch den Bürger zur Getrenntsammlung in den bereitgestellten Batteriesammelboxen gegeben (s.o). Bei einer Rückgabequote von ca. 44 % im Bringsystem ist die für 2012 vorgeschriebene Erfassungsquote in Höhe von 35 % bereits überschritten.

Würden Batterien in einer Wertstofftonne gesammelt, würden sich zwei Effekte überlagern: Die haushaltsnahe Sammlung im Holsystem der Wertstofftonne könnte zu einer Erhöhung der Gesamterfassungsmenge führen. Gleichzeitig ist absehbar, dass zusätzlich ein Verlagerungseffekt von der Getrenntsammlung im Bringsystem hin zur Wertstofftonne erfolgt.

Sortierbarkeit, Sortierverhalten

Der Hauptanteil der Gerätebatterien sind Alkali-Mangan- / Zink-Kohle Systeme. Diese setzen sich im Durchschnitt wie folgt zusammen: 18 % Zn, 26 % Mn, 13 % FE, 11 % H_2O, 5 % C, 3 % Organik und 23 % Sonstiges.

Batterien weisen wegen unterschiedlicher Materialzusammensetzung keine einheitlichen Eigenschaften auf. Dies führt in der Sortierung in Anlagen, die zur Sortierung von Mengen aus der Wertstofftonne ausgelegt sind, dazu, dass eine Aufkonzentration eines Batteriemonostroms in diesen Anlagen nicht darstellbar ist.

Aufgrund der Kleinteiligkeit wird ein erheblicher Anteil der Batterien bereits unmittelbar nach der Aufgabe in die Sortieranlage abgesiebt und im Feinkorn ausgetragen. Dieses ist kritisch, da Knopfzellen teilweise noch bis zu 2 % Quecksilber enthalten. Wegen des ballistischen Verhaltens besteht die Gefahr der Kontamination aller über automatische Klaubesysteme produzierten Qualitäten.

Über FE- oder NE-Trennung könnte ein Teil der Batterien separiert werden. Diese lägen dann in der entsprechenden FE-oder NE-Fraktion vor. Zur Verwertung der Batterien ist jedoch eine weitere Sortierung in die elektrochemischen Systeme erforderlich. Die getrennt erfassten Gerätebatterien werden heute überwiegend mit Röntgensortiertechnik in die unterschiedlichen elektrochemischen Systeme fraktioniert. Den Hauptstrom nach der Sortierung bilden die AlMn/ZnC Primärbatterien (ca. 80 % der Erfassungsmenge).

Bei den Sekundärbatterien bilden die schwermetallhaltigen Blei- und Nickel-Cadmium-Akkus den größten Anteil. Eine solche differenzierte (Nach-) Sortierung wäre bei einer Trennung im FE- oder NE-Strom nicht mehr möglich. Vielmehr würden die Batterien zu einer Querkontamination im FE- und NE-Produkt führen. Das betrifft bei einer Beschädigung der Zellen ggf. auch andere Fraktionen wie z. B. Kunststoffe.

Ein Gefahrenpotential kann durch den Eintrag lithiumhaltiger Batterien nicht ausgeschlossen werden. Diese könnten eine Brandgefahr im kunststoffreichen LVP-Gemisch darstellen.

Verwertbarkeit, verwertungstechnische Eigenschaften

Voraussetzung für die Verwertung ist eine Differenzierung nach Zusammensetzung der Batterien. AlMn/ZnC-Batterien werden heute in Hochöfen, Wälzöfen oder Elektrostahl-

öfen eingesetzt. Nickelhaltige Batterien werden pyrolisiert, das Cadmium destillativ wiedergewonnen. Das Quecksilber aus Knopfzellen wird ebenfalls über mehrere Destillationsschritte wieder aufbereitet. Für Lithiumsysteme werden sowohl Pyro- als auch Hydrometallurgische Prozesse eingesetzt (Knudsen 11/2009).

Die beschriebenen Technologien sind aber ausschließlich auf Monoströme anwendbar und damit für die Anwendung im Rahmen der Wertstofftonne irrelevant.

Werthaltigkeit

Die Werthaltigkeit und wirtschaftliche bzw. ökologische Relevanz der Batterieverwertung ergibt sich ausschließlich aus der differenzierten Verwertung sortenreiner Monofraktionen. Diese sind bei einer Miterfassung in einer gemeinsamen Wertstofftonne mit anderen Materialfraktionen nicht gegeben.

Ökologische Relevanz

Ein ökologischer Vorteil, der sich aus einer stoffspezifischen Verwertung der Batterien ergeben würde, kann nicht erzielt werden, da sich keine Monoströme erzeugen lassen. Es muss im Gegenteil von einer erheblichen Kontamination anderer bislang unkritischer Abfallströme mit Schwermetallen (Hg, Cd, Pb) ausgegangen werden.

Durch ein komfortableres Holsystem (im Vergleich zum heutigen Bringsystem) könnten ggf. höhere Erfassungsmengen erzielt werden. Durch eine solche Steigerung wird aber kein höherer ökologischer Nutzen erzielt werden, da die Mengen keinem entsprechenden Verwertungsverfahren zugeführt werden können. Vielmehr würde durch eine solche Miterfassung das etablierte, speziell auf die Erfassung von Batterien ausgerichtete Erfassungssystem mit spezifischer Verwertung unterminiert.

5.11 Zusammenfassende Bewertung

In den vorangegangenen Kapiteln 5.1 bis 5.10 unter der Gliederungsebene einzelner Materialgruppen vorgenommene Ausführungen werden nachfolgend nach einzelnen Bewertungskriterien im Hinblick auf die Eignung hinsichtlich einer Sammlung einzelner Materialgruppen in der Wertstofftonne zusammengefasst.

In den einzelnen Bewertungskategorien erfolgt eine Klassifizierung für die einzelne Materialgruppe nach einer 5-stufigen Bewertungsskala.

Der Tabelle 5.7 sind die Kriterien und die im Einzelnen vorgenommenen Bewertungen im Überblick zu entnehmen. Hierbei veranschaulicht die Symbolik von „●●●●“ bis „○○○○“, ob die Option einer Zuweisung zur Wertstofftonne in der jeweiligen Bewertungskategorie im Vergleich zur Entsorgung mit dem Restmüll als positiv oder negativ erachtet wird. „●●○○“ signalisiert mittlere bzw. neutrale Beurteilung oder Irrelevanz. Abgrenzungskriterien der jeweiligen Bewertungsstufen sind dem Kommentar zu den einzelnen Bewertungskriterien zu entnehmen.

Tabelle 5.7 Matrix mit wertstoffspezifischen Bewertungskriterien

	FE-Metalle	NE-Metalle	Kunst-stofffolien	Standard-polymere	PVC	Sonstige Kunst-stoffe	Holz	Textilien	Gummi	Elektro-klein-geräte	Batterien
Mengenrelevanz	●●●○	●●○○	●●●○	●●●○	●●○○	●●●○	●●●●	●●●●	●○○○	●●●○	○○○○
Selektivität der Getrennthaltung	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●○	●○○○	○○○○	●●●○	●●●●
Konkurrenzsituation zu bestehenden Verwertungsstrukturen	●●●○	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●○○	○○○○	●●○○	●○○○ bis ●●●○	○○○○
Sortierbarkeit	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●○	●○○○	○○○○	●●●○	○○○○
technische Umsetzbarkeit/ Sortierung	●●●○	●●●○	●●●●	●●●●	●○○○ bis ●●●●	●○○○ bis ●●●●	●○○○	●○○○	○○○○	●○○○	○○○○
Sortierkosten	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●○○	●○○○ bis ●●●●	●○○○	●●○○	○○○○	●○○○	○○○○
Verwertbarkeit/ verwertungstechnische Eigenschaften	●●●●	●●●●	●●●○	●●●●	○○○○ bis ●●●○	●●●○ bis ●●●●	●●○○	●○○○	●○○○	●●●○	n.b
ökonomische Werthaltigkeit	●●●○	●●●●	●●○○	●●●○	○○○○ bis ●●●○	●○○○ bis ●●●●	●●○○	○○○○	○○○○	●●○○	n.b.
ökologische Vorteilhaftigkeit	●●●○	●●●●	●●●●	●●●●	●●○○ bis ●●●●	●●●○ bis ●●●●	●●○○	○○○○	●●○○	●○○○ bis ●●●○	○○○○

Die Bewertung erfolgt im Hinblick auf eine Miterfassung in einer gemeinsamen Wertstofftonne (siehe nachfolgende Erläuterung).

●●●● = sehr positive Bewertung, ●●●○ = positive Bewertung, ●●○○ = neutrale Bewertung, ●○○○ = negative Bewertung ○○○○ = sehr negative Bewertung

Mengenrelevanz

Mit diesem Bewertungskriterium wird dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass das Aufwand- zu Nutzen-Verhältnis generell mengen- bzw. konzentrationsabhängig ist, sofern eigenständige Verwertungspfade etabliert werden müssen. Die Einstufung orientiert sich an der abgeschätzten spezifischen Erfassungsmenge unabhängig davon, ob Anteile hiervon sich bereits jetzt im LVP-Erfassungssystem befinden.

Die Abstufung erfolgt hier in Intervallen von 0,5 kg/E*a, wobei „--“ für Erfassungsmengen < 0,1 kg/E*a steht. Im Überblick bleibt festzustellen, dass größere Erfassungsmengen (>1,5 kg/E*a) insbesondere bei Zuweisung der Wertstoffgruppen Holz und Textilien sowie von der Summe der NVP-Kunststoffe zu erwarten bzw. gegeben sind. Elektrokleingeräte und Fe-Metalle werden im Intervall 1-1,5 kg/E*a im Sammelgemisch vertreten sein. Marginale Einträge werden bezüglich der Materialgruppe Gummi und Batterien erwartet.

Akzeptanz, Selektivität einer Getrennterfassung

In diesem Kriterium wurde eine Beurteilung vorgenommen, inwieweit eine selektive Zuweisung durch den Abfallerzeuger praktikabel erscheint, insbesondere inwieweit eine Identifizierung entlang intendierter Abgrenzung unter quantitativen und qualitativen Aspekten zu erwarten ist.

Die aus Gründen unterschiedlicher verwertungstechnischer Eigenschaften gebildete Untergruppierung im Bereich der StNVP aus Kunststoff wurde hierbei zugunsten einer summarischen Bewertung nicht berücksichtigt, da ohnehin nicht davon auszugehen ist, dass eine Differenzierung nach einzelnen Kunststoffarten oder –sorten mit Ausnahme der Elastomere (Gummi) im Rahmen einer getrennten Erfassung praktikabel ist.

Mit „●●●●“ wurden die Materialgruppen bewertet, die auch heute schon in nennenswertem Umfang einem Getrennterfassungssystem zugeordnet werden.

Abstriche sind für die Materialgruppe „Elektrokleingeräte“ zu machen. Hier bedarf es einer intensiven Öffentlichkeitsarbeit, damit die Nutzung hinreichend selektiv erfolgt (Entnahme und separate Entsorgung von Batterien; keine Beschickung mit bruchempfindlichen größeren Geräten wie Monitore, Drucker etc.).

Holz bedarf ebenfalls einer expliziten Abgrenzung, nicht zuletzt im Hinblick auf Ausschluss von Möbeln, Stubben, Baum- und Strauchschnitt.

In der negativen Beurteilung für die Materialgruppe Gummi spiegelt sich die komplexe Abgrenzungsnotwendigkeit angesichts vielfältiger Modifikationen und Anwendungsbereiche vom Hygieneartikel bis hin zum Reifen wider.

Ähnliches gilt für Textilien, sofern dies nicht auf Altkleider eingegrenzt betrachtet wird.

Konkurrenz zu bestehenden Erfassungsangeboten und Verwertungsstrukturen

Mit diesem Kriterium wird beurteilt, inwieweit eine Zuweisung zur Wertstofftonne Pfade bestehender alternativer Erfassungsangebote und Verwertungsmöglichkeiten tangiert.

Als besonders negativ wurde hierbei die Gefährdung funktionierender Monoerfassungsstrukturen eingestuft, wenn über die Zuweisung zur Wertstofftonne kein äquivalenter Verwertungsweg aufgezeigt werden kann. Dies ist bei Batterien und Textilien zu unterstellen.

Besteht keine nennenswerte konkurrierende Erfassungsstruktur, die eine stoffliche Verwertung ermöglicht, wird dies durch (●●●●) symbolisiert.

Wie in Kap. 5.9 ausgeführt, ermöglicht die Datenlage zur Erfassungssituation für Elektrokleingeräte (im Sinne kleiner Elektro- und Elektronikgeräte) keine eindeutige Einordnung. Wurde bislang unterstellt, dass über das nach ElektroG bestehende Erfassungsangebot für diese Gerätegruppe nur unzureichende Sammelergebnisse erzielbar seien, signalisieren die jüngsten Statistiken bei ansteigendem Trend, dass diese These zumindest durch geeignete Untersuchungen überprüft werden muss bzw. zu hinterlegen ist.

Sortierbarkeit

Unter dem Kriterium Sortierbarkeit werden die grundsätzlichen Möglichkeiten beurteilt, die jeweilige Materialgruppe aufgrund nutzbarer Eigenschaftsunterschiede aus einem komplexen Gemisch im großtechnischen Maßstab zu separieren. Die Einstufung erfolgt unabhängig davon, ob eine Nachrüstung bestehender Anlagen hierfür erforderlich wäre. Für Metalle und Kunststoffe gilt hier generell, dass sie infolge ihrer mechanischen oder automatischen Trennbarkeit bis in die unteren Größenbereiche aus dem Wertstofftonnengemisch separiert werden können.

Holz und Elektrokleingeräte haben jeweils kein sortiertechnisch eindeutiges Eigenschaftsprofil. Aufgrund der Stückgrößen sind unerwünschte Fehleinträge in Zwischenproduktströme aber manuell wirksam behebbar.

Größere Abstriche sind unter diesem Kriterium bei Textilien vorzunehmen; neben der teilweise unzureichenden Differenzierungsmöglichkeit gegenüber Kunststoffoberflächen führt das problematische spezifische fördertechnische Verhalten zu einer negativen Bewertung.

Batterien sind zwar im Monostrom durch mechanische und automatische Trennverfahren selektiv in einzelne Arten zu sortieren. Einen solchen Monostrom aus einem heterogenen Vielstoffgemisch zu isolieren, ist aber angesichts überlagernder Trennmerkmale, kleiner Stückgrößen und nicht zuletzt aufgrund der volumetrischen Verhältnisse als nur rein theoretisch lösbare Option einzuordnen.

Ähnlich niedrig ist auch die Sortierbarkeit für Gummiartikel als Folge der Besonderheiten in Farb- und Formgebung einzuordnen.

Sortiertechnische Umsetzbarkeit

In Abgrenzung zum voranstehenden eher grundsätzlichen Kriterium Sortierbarkeit, werden in dieser Bewertungskategorie Umsetzungsprobleme klassifiziert, die aus der jeweiligen zusätzlichen Aufgabenstellung an die Sortierung, ausgehend vom jetzigen Sortieranlagenbestand, zu lösen wären.

Die Mitverarbeitung von NVP-Folien ist als reine Synergie zu werten. Gleiches gilt für NVP aus Verpackungsstandardpolymeren.

Für NVP aus sonstigen Kunststoffen ist eine variable Bewertung je nach angestrebtem bzw. vorgegebenem Verwertungsweg vorzunehmen. Erfolgt eine Zuordnung zur Fraktion „Mischkunststoffe“ kann dies ohne nennenswerte Änderung des derzeitigen Sortieranlagenbestandes umgesetzt werden. Sollen Potenziale hochwertig stofflich verwertbarer Sorten erschlossen werden – eine Option, die insbesondere für Thermoplaste wie PC, ABS oder PVC grundsätzlich in Betracht zu ziehen ist – sind Prozesse zu entwickeln und zu implementieren, die unter der Randbedingung relativ geringer Eingangskonzentrationen eine praktikable Lösung bieten. Abgesehen von der möglichen Umsetzungsgeschwindigkeit wird der Eingriff in den Bestand ähnlich einge-

schätzt, wie der zur Implementierung einer neuen Sortierfraktion (siehe Holz, Elektrokleingeräte).

Eine möglichst quantitative Aussortierung von metallischen NVP wird in einer Vielzahl von Bestandsanlagen ohne nennenswerte Eingriffe in den Bestand möglich sein. Im Einzelfall werden aber Änderungen von Betriebsparametern bis hin zu verfahrenstechnischen und baulichen Anpassungen erforderlich werden. Entsprechend erfolgt eine geringe Abstufung in der positiven Beurteilung.

Die Erweiterung der Wertstofftonne auf Holz, Textilien oder Elektrokleingeräte ist seitens der Umsetzungsproblematik für Bestandsanlagen ähnlich zu beurteilen. Auf Fließbildniveau ist „lediglich“ ein zusätzlicher Verfahrensstrang für eine zusätzliche Sorte (Aussortierung ggf. Nachreinigung, Pufferung/Verpackung) mit grundsätzlich etablierten Routinen zu integrieren. Speziell für „gewachsene“ Bestandsanlagen stößt die praktische Umsetzungsproblematik aber bereits an die Grenze der Machbarkeit schon bei einer einzigen zusätzlichen Sortierfraktion. Entsprechend erfolgt eine negative Beurteilung.

Die dagegen nochmals signifikant höher eingeschätzte sortiertechnische Umsetzungsproblematik bei Miterfassung von Batterien und Gummi (mit dem Ziel einer selektiven Aussortierung) beruht auf der Einschätzung, dass dies mit derzeitigen Sortierstandards unvereinbar ist. Bei Batterien schließt dies auch die Bereiche Umschlag und Lagerung ein.

Zusätzliche Sortierkosten

In diesem Kriterium spiegelt sich die ökonomische Konsequenz des voranstehenden Bewertungskriteriums wider, wobei individuelle erhöhte Umstellungskosten ebenso wenig einfließen können wie Effekte der Degression spezifischer Kosten durch steigende Mengen.

Die Zuweisung stoffgleicher NVP zur Wertstofftonne wird bei unveränderter Sortiersystematik unter den o. a. Randbedingungen zu keiner Veränderung der spezifischen Sortierkosten führen. In jedem Fall ist auszuschließen, dass die spezifischen Kosten sich erhöhen.

Sind Vorgaben im Hinblick auf eine stoffliche Verwertung von NVP-Kunststoffarten umzusetzen, werden hieraus zusätzliche Kosten für deren selektive Aussortierung auf

4 – 10 € je t Sammelgemisch resultieren, die nur zum Teil durch Erlöse kompensiert werden können.

Die Aussortierung zusätzlicher Sorten mit Standardverfahren wie dies für NStNVP Holz, Textilien und Elektrokleingeräte unterstellt werden kann, wird nach Modellrechnung zusätzliche Kosten von im Mittel jeweils ca. 4 – 5 € je t Wertstoffgemisch (Input) nach sich ziehen.

Im Mittel höhere, hier nicht im Einzelnen quantifizierbare Kosten, würden die Aussortierung von Gummi und insbesondere von Batterien nach sich ziehen.

Verwertbarkeit

Die Einstufung orientiert sich am Eigenschaftsprofil eines (potentiell) darstellbaren Sortierproduktes in den Intervallen hochwertige stoffliche Nutzung (●●●●), teilweise hochwertige stoffliche Nutzung sowie hochwertige energetische Nutzung (●●●○), energetische Nutzung (●●○○).

Negative Bewertung symbolisiert, dass mehr oder weniger gravierende Einschränkungen für eine energetische Verwertung als Folge des Stoffbestandes gegeben sind.

Alle metallischen NVP sind entsprechend hoch positiv bewertet, da sie sich über physikalische und metallurgische Trennprozesse weitgehend zu mit Primärrohstoffen gleichwertigen Qualitäten umschmelzen lassen.

Mit gewissen Abstrichen kann dies auch für eng spezifizierte thermoplastische Kunststoffprodukte gelten, wobei für neue Produkte aus dem post-consumer Bereich bestehende Verwertungsstrukturen erschlossen werden müssen. Für Duroplaste und Elastomere (Gummi) aus einer gemischten Wertstofferfassung, die durch Umschmelzen nicht regenerierbar sind, bleibt absehbar nur der Pfad der energetischen Verwertung. Gleiches gilt für Holz und Textilabfälle aus der Gemischterfassung.

Die Eingruppierung der Elektrokleingeräte bezieht sich auf die derzeitige Praxis einer überwiegend energetischen Nutzung des Kunststoffanteils und stofflichem Recycling der Metalle. Im Vergleich zur Erfassung und Verwertung nach ElektroG könnte die Verwertbarkeit beeinträchtigt sein. Dies begründet sich in der Beeinträchtigung der manuellen Demontierbarkeit schadstoff- und wertstoffhaltiger Bauteile (siehe Kapitel 5.9).

Ökonomische Werthaltigkeit

Dieses Bewertungskriterium ist gleichzusetzen mit dem Erlös bzw. der Zuzahlung für ein (potentielles) Produkt aus der Sortierung der Wertstofftonne. Spezifische Qualitäten sind hierbei berücksichtigt.

Eine sehr positive Bewertung folgt hier dem Gedanken des „urban mining“, d. h. Erfassungs- und Sortierkosten (hier pauschal in Summe mit 200 €/t angesetzt) können über den Produkterlös erwirtschaftet werden.

Positiv wurde bewertet, wenn der Produkterlös über den durchschnittlichen Sortierkosten (hier pauschal mit 80 €/t angesetzt) liegt. Neutrale Bewertung umfasst das Intervall 0 - 80 €/t. Zuzahlungen bis 50 €/t sind negativ und darüber hinausgehende als sehr negativ bewertet. Die Abschätzung von erzielbaren Erlösen orientiert sich vorgabegemäß soweit sinnvoll und möglich am Durchschnittspreis der letzten 5 Jahre.

Ökologische Vorteilhaftigkeit

Der Bewertungsrahmen umfasst den qualitativen Szenarienvergleich Zuweisung zur Wertstofftonne versus Zuweisung zur bzw. Verbleib in der Restabfalltonne, bei Elektrokleingeräten daneben auch unter Berücksichtigung der konkurrierenden Erfassungs- und Verwertungsstrukturen nach ElektroG.

Positive Beurteilung der Option einer Zuweisung zur Wertstofftonne wurde vorgenommen, wenn eindeutige und signifikante ökologische Vorteilhaftigkeit vorausgesetzt werden kann.
Dies trifft zu auf NVP aus Metallen und aus stofflich verwertbaren Kunststoffen.

Neutrale Bewertungen signalisieren Irrelevanz. Über den Weg einer getrennten Erfassung ist keine ökologische Vorteilhaftigkeit gegenüber dem unmittelbaren Verbleib im Restabfall zu erschließen, wie dies für Holz und Gummi der Fall ist.

Negative Bewertungen wurden vorgenommen, wenn durch die Zuweisung zur Wertstofftonne ökologisch als höherwertig einzuschätzende Erfassungs- und Verwertungsstrukturen gefährdet werden. Dies ist für die Materialgruppe Textilien und Batterien zu unterstellen.

Die Einordnung der Option einer Erfassung von Elektrokleingeräten über die Wertstofftonne bezüglich des Kriteriums ökologische Vorteilhaftigkeit wird im Wesentlichen bestimmt durch das Ergebnis eines quantitativen Vergleichs mit der bestehenden

Entsorgungsinfrastruktur an der Schnittstelle zur Verwertung. Entsprechend ist zu berücksichtigen, dass höhere Erfassungsmengen über ein Holsystem Wertstofftonne gegenüber dem eingeführten Bringsystem zunächst um unvermeidbare Sortierverluste zu bereinigen sind, um eine geeignete Vergleichsbasis herzustellen. Zu berücksichtigen sind ferner auftretende Substitutionseffekte durch die Verlagerung größerer Altgeräte vom Bring- ins Holsystem, die u.a. wegen der Sortierverluste als ökologisch nachteilig zu bewerten sind. Es existieren bislang keine Untersuchungsergebnisse, die diesen komplexen Bilanzrahmen auch nur näherungsweise quantitativ beschreiben. Die Einstufung kann daher unter Angabe einer Bandbreite und von der Tendenz her nicht eindeutig vorgenommen werden. Für den Fall, dass über die Wertstofftonne im Vergleich zum Bringsystem so deutlich höhere Erfassungsmengen generiert werden, dass auch unter Berücksichtigung von Sortierverlusten ein positiver Saldo verbleibt und Substitutionseffekte weitgehend vernachlässigt werden können, ist die Option Wertstofftonne als positiv zu bewerten. Wird im Vergleich zu einem ggfs. noch zu optimierenden Monoerfassungssystem innerhalb des genannten Bilanzrahmens über die Wertstofftonne keine deutliche Mehrmenge bereitgestellt, ist die Option Miterfassung über die Wertstofftonne als ökologisch nachteilig zu klassifizieren.

6. Szenarienbetrachtung ausgewählter Modelle einer Wertstofftonne

Im voranstehenden Kapitel wurden einzelne Materialgruppen anhand spezifischer Kriterien im Hinblick auf die Sinnhaftigkeit einer Zuweisung zur Wertstofftonne diskutiert und bewertet.

Eine rein modulare Zusammenführung der Ausführungen zu einzelnen Materialgruppen aus Kapitel 5 auf der Modellebene ist zur Beurteilung solcher Effekte nicht zielführend, die aus der Veränderung von Abfallströmen resultieren. Hierfür sind die komplexen Verschiebungen wie z.B. absolute Zunahme von Fehlwürfen, Synergien bezüglich der Erfassung von Verkaufsverpackungen und nicht zuletzt die Tatsache zu berücksichtigen, dass bereits mit dem bestehenden System für Verkaufsverpackungen NVP-Wertstoffpotenziale erschlossen werden.

Referenzgröße der weiteren Betrachtungen bildet das Modell 0, welches näherungsweise den Status quo abbildet.

Unter Berücksichtigung der in Tabelle 5.7 veranschaulichten Zwischenergebnisse werden unter der Maßgabe, dass eine Erfassung in der Wertstofftonne technisch darstellbar ist sowie ökologische und abfallwirtschaftliche Vorteile generiert werden können, die Materialgruppen Holz, Batterien, Textilien und Gummi in die Modellbetrachtungen nicht einbezogen.

- Holz: Hoher Sortieraufwand ohne Aussicht auf ökologischen Vorteil. Nur energetische Verwertung möglich. Sperrige Holzteile können die Sortierung und Verwertung anderer Fraktionen stören.
- Batterien: Nicht sortierbar, konkurrierende Sammlung beeinträchtigt, Querkontamination anderer sortierter Fraktionen möglich.
- Textilien: Konkurrierende Sammlung beeinträchtigt, keine stoffliche Verwertung möglich, daher ökologisch nachteilig.
- Gummi: Nicht sortierbar, nicht stofflich verwertbar.

Für die übrigen Materialgruppen wurden folgende Basismodelle definiert:

Modell 1 (M1): LVP + StNVP aus Metallen und Kunststoffen,
Modell 2 (M2): M1 + Elektrokleingeräte,

die auf Ebene szenarisch abzubildender Kriterien wie Kostenveränderungen ergänzend skizziert und bewertet werden.

Sensitivitätsbetrachtung Modell M1b – zusätzliche Kunststoffsorten

In der Basisvariante zu Model 1 wird angenommen, dass der Produktfächer der Sortierung im Vergleich zu M0 unverändert bleibt. Im Rahmen einer Sensitivitätsbetrachtung (Modell 1b) wird daneben ein Szenario skizziert, bei dem eine Maximierung hochwertiger stofflicher Verwertung innerhalb der Materialgruppe „Kunststoffe“ durch entsprechende Vorgaben initiiert wird, da durch die Verwertungserlöse der Sortieraufwand nicht gedeckt werden kann.

Dieser Ansatz folgt der Überlegung, dass die mit dem Instrument Produktverantwortung intendierte Internalisierung von Verwertungskosten und resultierende Steigerung der Ressourceneffizienz umso eher erreicht wird, je individueller Vorgaben spezifiziert werden (z. B. durch eine Rücknahmeverordnung und durch Vorgaben zur Erfassung, Sortierung, Verwertung und Quotenerfüllung für CDs, DVDs oder PVC-Produkte).

Kunststoffe sind weder im anwendungs- noch im verwertungstechnischen Sinne als einheitliche Materialgruppe anzusprechen. Eine kollektive Produktverantwortung (z. B. eine summarische Quotenvorgabe für alle Kunststoffe ohne Differenzierung nach Kunststoffart oder Produktgruppe) erbringt daher, wie im Kap. 4.1.2 aufgezeigt, innerhalb eines vorgegebenen Rahmens eine im Wesentlichen betriebsökonomisch bestimmte Optimierung auf der Entsorgungsseite mit allenfalls mittelbaren Rückkopplungseffekten.

Bei einer Systemerweiterung auf NVP-Kunststoffe ist aufgrund des Verhältnisses von Sortierkosten zu erzielbarem Erlös daher nicht zu erwarten, dass sich neue Sorten quasi von selbst etablieren, auch wenn die rohstofflichen und verwertungsseitigen Voraussetzungen an sich gegeben wären. Gemäß der Diskussion im Kap. 5.5 wird bei der Definition der Modellvariante 1b daher vorausgesetzt, dass Anforderungen an die werkstoffliche Verwertung auf der Ebene einzelner Kunststoffarten umzusetzen sind.

Angesichts der Vielzahl von Einflussfaktoren und Stellgrößen einerseits und der Varianz individueller Gegebenheiten andererseits sind nachstehende Berechnungen und Bewertungen auf Modellebene nicht unter dem Anspruch einer Allgemeingültigkeit mit Bezug auf ein einzelnes Entsorgungsgebiet zu interpretieren. Vielmehr ist es angesichts der Aufgabenstellung „Idealzusammensetzung einer einheitlichen Wertstofftonne“ Zielsetzung, die mittelfristigen Auswirkungen einer Umstellung auf unterschiedliche Wertstofftonnenvarianten in der durchschnittlichen Tendenz repräsentativ abzubilden.

6.1 Mengenbetrachtung

6.1.1 Erfassungsmengen und Qualitäten

Tabelle 6.1 weist die Wertstoffmengen im Referenzszenario M0 und die prognostizierten mittleren Zusammensetzungen und Sammelmengen der Wertstofftonnenszenarien M1 und M2 aus. Zur Herleitung der Daten sei auf Kapitel 4.4 verwiesen.

In Summe wird für M1 bei flächendeckender Umsetzung eine mittlere Zunahme der Sammelmenge von 7 kg/E*a (davon 5,1 kg/E*a LVP + StNVP) entsprechend ca. 570.000 t/a bzw. eine Zunahme um ca. 26 % gegenüber der Ist-Situation (M0) erwartet. Die zusätzliche Erfassungsmenge umfasst StNVP, daneben auch VP sowie Fehlwürfe; deren Steigerungsrate wurde basierend auf den Ergebnissen aus den Modellversuchen geringfügig unterproportional berücksichtigt.

Für das Modell M2 belaufen sich die errechneten Werte zum erwarteten Mengenzuwachs auf 8,2 kg / E * a (davon 6,3 kg/E*a LVP + StNVP + Elektrokleingeräte) bzw. ca. 667.000 t/a. Die entspricht einer relativen Steigungsrate von ca. 30 % im Vergleich zu M0.

Tabelle 6.1 Wertstofferfassungsmengen in den Szenarien M0, M1 und M2

Stoffgruppe		Referenzmodell	Modell 1	Modell 2
		1	2	3
Weißblech	VP	3,1 kg/E*a	3,5 kg/E*a	3,5 kg/E*a
	StNVP	0,32kg/E*a	1,3 kg/E*a	1,3 kg/E*a
Aluminium	VP	1,0 kg/E*a	1,1 kg/E*a	1,1 kg/E*a
	StNVP	0,3 kg/E*a	0,6 kg/E*a	0,6 kg/E*a
Folien > Din A4	VP	1,1 kg/E*a	1,2 kg/E*a	1,2 kg/E*a
	StNVP	1,1 kg/E*a	1,5 kg/E*a	1,5 kg/E*a
Standardverpa-ckungspolymere	VP	6,0 kg/E*a	6,2 kg/E*a	6,2 kg/E*a
	StNVP	0,7 kg/E*a	1,2 kg/E*a	1,2 kg/E*a
Sonst. Kunststoffe	VP	3,9 kg/E*a	4,3 kg/E*a	4,3 kg/E*a
	StNVP	1,0 kg/E*a	2,5 kg/E*a	2,5 kg/E*a
FKN	VP	2,1 kg/E*a	2,2 kg/E*a	2,2 kg/E*a
Holz	VP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a
	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a
Textilien	NStNVP	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a
Gummi	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a
Elektrokleingeräte	NStNVP	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a	1,2 kg/E*a
Batterien	NStNVP	0,0kg/E*a	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a
PPK und Rest		7,0 kg/E*a	8,9 kg/E*a	8,9 kg/E*a
Summe		**27,7 kg/E*a**	**34,7 kg/E*a**	**35,9 kg/E*a**
Zusatzmenge gegenüber M0			**7 kg/E*a**	**8,2 kg/E*a**
davon Wertstoffe			**5,1 kg/E*a**	**6,3 kg/E*a**
Datengrundlage		s. Tabelle 4.7, Sp. 2	s. Tabelle 4.9, Sp .5	

Die farbig hinterlegten Fraktionen sind im jeweiligen Modell im Zuweisungskatalog für das entsprechende Erfassungssystem enthalten.

Da in der Prognose nur Transfermengen aus dem Restabfall berücksichtigt sind und für die Modelle 1 und 2 eine Substitution paralleler Erfassungswege im Rahmen einer überschlägigen Abschätzung vernachlässigbar ist, entsprechen die ausgewiesenen Zuwächse größenordnungsmäßig der erwarteten restmüllseitigen Mengenreduzierung. Darüber hinaus könnten weitere Mengen aus der Verlagerung von konkurrierenden Erfassungssystemen erfasst werden. Diese Effekte bleiben entsprechend den Ausführungen in Kapitel 4.4.1 unberücksichtigt.

6.1.2 Bedarf an zusätzlichen Sortierkapazitäten

Aus den vorgenannten Zahlen bezüglich der erwarteten Mengenzuwächse in den Wertstofftonnenszenarien M1 und M2 lässt sich folgern, dass bundesweit statt derzeit ca. 2,27 Mio. t/a ca. 2,84 Mio. t/a (M1) bzw. 2,94 Mio. t/a (M2) einer qualifizierten Sortierung zuzuführen sein werden.

Unter Verweis auf Tabelle 4.1 ist zunächst festzustellen, dass die derzeit operativ tätigen Anlagen eine Kapazität (im 3-Schicht-Betrieb) von in Summe etwa 3,1 Mio. t/a aufweisen. Weder im Mengenszenario zu M1 noch im Szenario M2 wird diese Marke überschritten. Zusätzlich sind Kapazitätsreserven durch längere Betriebszeiten sowie durch kapazitive Ertüchtigung einzelner Anlagen zu erschließen, so dass aus den Umstellungsszenarien M1 und M2 kein grundlegender Bedarf an neuen Standorten resultiert.

Dies gilt auch dann, wenn die prognostizierte Mehrmenge von 7 bzw. 8,2 kg/E*a deutlich überschritten würde. Alle bisher genannten Angaben bilden nur die Kapazitäten der Anlagen ab, die aktuell einen Sortiervertrag mit einem der Dualen Systembetreiber haben. Darüber hinaus gibt es eine Reihe weiterer Anlagen, die in der Vergangenheit LVP sortiert haben, aktuell aber nicht beliefert werden und ohne relevanten Aufwand wieder in Betrieb genommen werden können. Nach Kapazitätsermittlung im Jahr 2006 belief sich die damalige Gesamtsortierkapazität bundesweit bereits auf 4,5 Millionen Tonnen (HTP 2006).

6.1.3 Bilanzen der Sortierung

Die Abschätzung der quantitativen Ergebnisse der Sortierung für die Szenarien M1 und M2 basiert auf einer vereinfachten Prozessmodellierung, die auf folgenden Annahmen beruht:

1. Für VP werden die vertraglichen, empirisch gestützten Mindestvorgaben (Reinheit, Ausbringen) der Sortierverträge des Systembetreibers „Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH“ erfüllt.
2. Die unter 1. genannte Prämisse wird auch auf die StNVP angewendet. Gegebenenfalls differierende (höhere) Ansätze bezüglich des realisierbaren Ausbringens sind in Kapitel 5 jeweils dargestellt.

3. Als Ausbringenswert für Elektrokleingeräte wird 80 % zugrundgelegt.
4. Hinsichtlich der technischen Ausstattung der Sortierung wird angenommen, dass u. a. als Folge der vergrößerten und inhaltlich veränderten Rohstoffbasis eine weitere Annäherung an den Stand der Technik zu verzeichnen sein wird. Insbesondere wird unterstellt, dass in höherem Umfang eine Sortierung nach Kunststoffart (heute 70 % / Modellierung 90 %) vorausgesetzt werden kann. Bei kleineren Anlagen kann dies auf die PO-Anteile (PE, PP, ggf. auch summarisch als PO) beschränkt sein, die den wesentlichen Anteil derzeit stofflich verwertbarer NVP-Kunststoffe bilden.
5. Die Herstellung neuer Kunststoffsorten (PVC, PC, etc.) wird nur in der Untervariante M1b berücksichtigt. Da angepasste Sortiertechnologien erst zu entwickeln sowie Vorgaben und Randbedingungen noch ungeklärt sind, sind die ausgewiesenen Werte als grobe Schätzung zu verstehen.

Tabelle 6.2 weist die so ermittelten Outputbilanzen der Szenarien M1 und M2 im Vergleich zum Status quo (2009) aus.
Die Grundlagen der Berechnungen sind im Einzelnen der Anlage 3 zu entnehmen.

Für die Untervariante M1b wird eine Verringerung der Outputmenge an Mischkunststoffen um insgesamt ca. 0,3 kg/E*a zugunsten zusätzlicher Kunststoffartenprodukte abgeschätzt.

Tabelle 6.2 Outputströme der Sortierung für die Szenarien M0, M1 und M2

Outputfraktion Sortierung	**Referenz-Modell**	**Modell 1**	**Modell 2**
	1	2	3
Weißblech	3,2 kg/E*a	5,0 kg/E*a	5,1 €/E*a
Aluminium	0,8 kg/E*a	1,4 kg/E*a	1,4 €/E*a
Folien > A 4	1,5 kg/E*a	2,0 kg/E*a	2,0 €/E*a
Kunststoffarten	1,6 kg/E*a	3,8 kg/E*a	3,8 €/E*a
Mischkunststoffe	9,1 kg/E*a	10,5 kg/E*a	10,5 €/E*a
FKN	1,7 kg/E*a	1,9 kg/E*a	1,9 €/E*a
PPK	0,9 kg/E*a	1,1 kg/E*a	1,1 €/E*a
Elektrokleingeräte	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a	1,0 €/E*a
Rest	8,9 kg/E*a	8,9 kg/E*a	8,9 €/E*a
Summe	**27,7 kg/E*a**	**34,7 kg/E*a**	**35,9 kg/E*a**

6.2 Ökonomische Szenarienbetrachtung

Den ökonomischen Szenarienbetrachtungen liegen, mit Ausnahme der Bewertung von Sortierprodukten, die auf Basis von Marktpreisen durchgeführt wird, modellhafte Kostenberechnungen zugrunde. Unterschiedliche Kostenträger (Kommune, duale Systeme, Entsorgungswirtschaft) und die damit ggf. verbundene Diskrepanz zwischen Kosten und Preisen je nach Verantwortungsbereich und Finanzierungsmodell sowie Schnittstellenproblematik sind nicht berücksichtigt. Vernachlässigt werden ferner vertragliche Sondersituationen (z.B. Kontingentverpflichtungen), die im Einzelfall dazu führen, dass prinzipielle Einsparpotenziale bei Systemumstellung nicht bzw. nur längerfristig erschlossen werden können.

6.2.1 Anpassungsbedarf der Logistik und Erfassungskosten

Kosten für Einsammlung und Transport sind bei gegebenem Gefäßsystem und Servicegrad in erster Linie von gebietsstrukturellen Gegebenheiten abhängig; diese bestimmen die kostenführenden Leistungsparameter wie Anzahl der Ladevorgänge je Stunde. Erfassungskosten weisen je nach örtlichen Randbedingungen entsprechend hohe Bandbreiten auf. Erfassungsmenge und deren Veränderungen sind von untergeordneter Bedeutung. Spezifische Kosten je t sind daher wenig aussagekräftig und als linearer Maßstab zur Bemessung von Veränderungen weitgehend ungeeignet.

Um die ökonomische Relevanz einer Umstellung auf eine einheitliche Wertstofftonne näherungsweise zu quantifizieren, wurden vor o. a. Hintergrund einige konkrete Fallbeispiele (Städte und Landkreise) mit unterschiedlichen Gegebenheiten modelliert.

Hierbei wurden zur Ermittlung der Referenzwerte in M0 die jeweiligen realen Aufkommenszahlen zu Restabfall- und LVP-Sammelmengen zugrunde gelegt. Die Kostenberechnungen basieren auf VKS-Leistungsdaten (VKS 2008)**.**

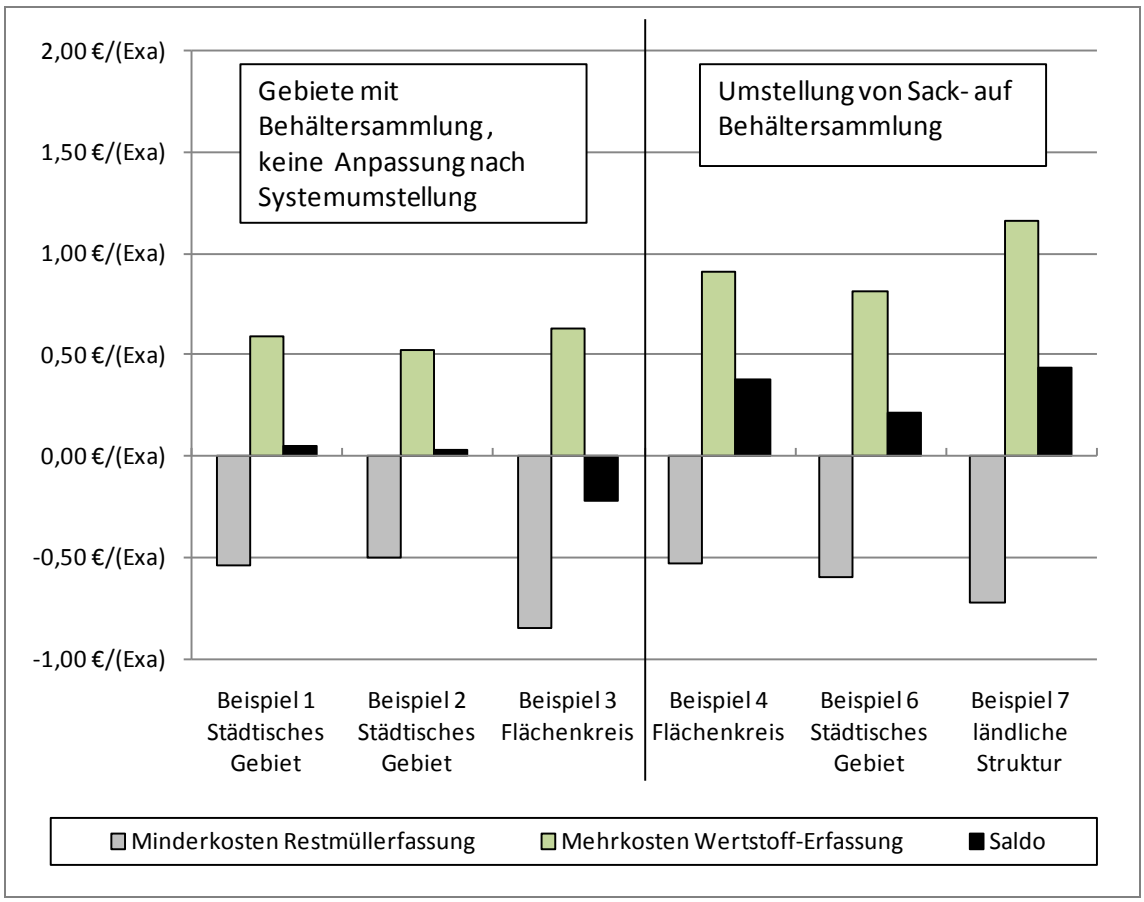
Methodisch analog wurden die Erfassungskosten für die Szenarien M1 und M2 berechnet, wobei die jeweils zu berücksichtigende Mengenverlagerung vom Restabfall- ins Wertstofferfassungssystem pauschal angesetzt wurde.

Die Fallbeispiele decken auch Umstellungsszenarien der derzeitigen Wertstofferfassungslogistik auf ein MGB-System mit entsprechend modifizierten Ansätzen zu erwartetern Mengenverlagerungen ab.

Errechnet wurden jeweils die Kosten der Einsammlung inkl. Transport zur Entsorgungsanlage für Restabfall und Wertstoffe. Signifikante Kenngröße zur Bewertung der Umstellungsszenarien M1 und M2 bildet nach o. a. Vorbemerkungen der Saldo von Kostenzunahme in der Wertstofferfassung und möglichem Einsparpotenzial bei der Restabfallsammlung gegenüber M0 in einwohnerspezifischer Bezugsetzung (€/E*a).

Abbildung 6.1 sind die Ergebnisse der Modellberechnungen exemplarisch für M1 zu entnehmen. Bezüglich der Berechnungsgrundlagen wird auf die Anlage 4 verwiesen. Beispiel 5 aus Anlage 4 wurde nicht in die Abbildung übernommen, da es sich um ein Bringsystem handelt, das mit den Gelben Tonnen/Säcken im Holsystem nicht vergleichbar ist.

Abbildung 6.1 Veränderungen der Erfassungskosten für das Szenario M1 im Vergleich zu M0 (Fallbeispiele)



Erwartungsgemäß signalisieren die Ergebnisse der Modellierung, dass es bei Umstellung der Wertstofferfassung ohne Änderung des Behältersystems im Groben lediglich zu Verschiebungen von Kosten kommt, die sich im Saldo näherungsweise neutralisieren.

Dies korrespondiert mit dem Sachverhalt, dass Behälter- und Sammelkosten im Wesentlichen vom Abfallvolumen bestimmt werden, welches in Summe von der Systemumstellung bei den Modellvarianten M1 und M2 unberührt bleibt. Dass sich Mehrkosten der Wertstofferfassung und potentielle Einsparungen der Restabfallabfuhr nicht vollständig kompensieren, liegt im Wesentlichen an den entfernungsabhängigen Transportkosten aus dem Erfassungsgebiet zur Entsorgungs- bzw. Sortieranlage. Für Wertstoffe sind i. d. R. längere Anfahrstrecken zurückzulegen. Ferner ist zu berücksichtigen, dass restabfallseitig bezüglich der Anpassungsmöglichkeit von Behälteranzahl bzw. -volumen angesichts relativ kleiner Veränderungen des Bedarfs deutlich höhere Trägheit gegeben ist, als auf der Seite der Wertstofferfassung, wo nach Ausschöpfen einer volumetrischen Auslegungsreserve (hier angenommen mit 20 %) zusätzliche Behälter aufgestellt und abgefahren werden müssen. In der Modellrechnung wurde dies mit einem als Dämpfungsfaktor bezeichneten Wert berücksichtigt, der jeweils ausweist, in welchem Maß Volumentransfer ohne Notwendigkeit (Wertstoffseite) bzw. Möglichkeit (Restabfallseite) der Behälteranpassung einbezogen wurde.

Für Entsorgungsgebiete, bei denen die Einführung einer Wertstofftonne mit einer Änderung des Gefäßsystems verbunden ist (Abschätzung 50 % der Haushalte bundesweit), erhöhen sich die Erfassungskosten. Die Modellrechnungen für die untersuchten Fallbeispiele eines Wechsels von Sack- auf MGB-Wertstoffsammlung lassen auf einen mittleren Anstieg der summarischen Logistikkosten in der Größenordnung von 0,40 €/ E * a schließen (vgl. Saldo rechte Hälfte der Abbildung 6.1). Relativierend ist an dieser Stelle sicherlich anzumerken, dass eine zunehmende Umstellung auf das benutzerfreundlichere, aber teurere Behältersystem auch völlig unabhängig von der Einführung einer Wertstofftonne im bestehenden System zu verzeichnen ist.

In Anbetracht nur marginaler zusätzlicher Transfer-Volumina gegenüber dem Szenario M1, errechnen sich für das Umstellungsszenario M2 nur geringfügig höhere Kosten (vgl. Anlage 5).

6.2.2 Sortierkosten

Der Änderungsbedarf zur Anpassung der Sortieranlagen für die Modelle M1 und M2 wurde bereits im Kapitel 5 zu den jeweiligen Stoffgruppen im einzelnen aufgeführt.

Einige grundlegende Einflussgrößen auf die Kosten einer Wertstoffsortierung wurden bereits in Kapitel 4.1.2 erläutert. Insbesondere wurde auf die ausgeprägte Bedeutung mengenabhängiger Kostendegression hingewiesen. Für die Modellszenarien M1 und M2 wird gegenüber dem Status ein Anstieg der Erfassungsmengen von 25 % bzw. 30 % erwartet. Es ist also anzunehmen, dass hierdurch in Folge besserer Anlagenauslastung oder kapazitiver Ertüchtigung Kostensenkungspotenziale im Hinblick auf die Entwicklung der spezifischen Sortierkosten erschlossen werden.

Solche Effekte sind aber im Rahmen einer Modellierung nicht quantifizierbar, da hierfür sehr komplexe Prämissen zu setzen sind.Bei Vernachlässigung ist aber festzuhalten, dass die Ergebnisse einer vereinfachten Modellierung eher den oberen Rand möglicher zusätzlicher Kosten repräsentieren.

Da eine signifikante Abhängigkeit zwischen Anlagenkapazität und Sortierkosten besteht, stellt sich die Frage, welche Anlagengröße geeignet ist, realistische durchschnittliche Verhältnisse abzubilden. Die derzeit operativ tätigen Sortieranlagen lassen sich bedingt durch Baugrößen von Schlüsselaggregaten relativ scharf in einzelne Kapazitätsklassen gruppieren (30.000 t/a, 40.000 t/a, 60.000 t/a, 100.000 t/a). Zur modellhaften Ableitung von Sortierkosten wurde auf die beiden mittleren Baugrößen Bezug genommen.

Modellhafte Betriebskostenberechnungen für diese beiden Anlagentypen jeweils unter Annahme einer 90 %igen Auslastung finden sich in den Anlagen 6 - 9. Es handelt sich um standortunabhängige Kalkulationen, die ansonsten den fachplanerischen Standards einer Kostenschätzung nach HOAI entsprechen.

Hieraus wird auch die Bedeutung einzelner Kostenarten und kalkulatorischer Ansätze (insbesondere der Abschreibungsdauer) ersichtlich, die bei der realen Preisbildung von äußeren Randbedingungen (z. B. Vertragslaufzeiten) und individuellen Gegebenheiten (z. B. Restwert) bestimmt werden.

Gemäß der Vorbemerkungen wurde zwischen M0 und M1 keine erheblich kostenbeeinflussende Parameteränderung unterstellt, lediglich für den Bereich der NE-Metalle ergibt sich ein kleinerer Änderungsbedarf (siehe Abschnitt 5.2), so dass die Berech-

nungen in Anlage 6 und 7 beide Modelle bei gleichen spezifischen Betriebskosten abdecken.

Für die zusätzliche Sortierung von Elektrokleingeräten (M2) ist die Ergänzung einer manuellen Aussortierung oder automatischen Aussortierung über multisensorische Trennstufen mit einer manuellen Nachsortierung erforderlich, siehe Abschnitt 5.9. In Anlage 8 und 9 zu M2 sind jeweils fixe und variable Kosten für eine Aussortierung von Elektrokleingeräten berücksichtigt. Zur Ermittlung von Fixkosten wurde eine lineare Abschreibung über eine Nutzungsdauer von 8 Jahren unterstellt.

Zur zusammenfassenden Darstellung in Tabelle 6.3 wurden die spezifischen Sortierkosten beider Baugrößen jeweils gemittelt.

Tabelle 6.3 Spezifische Kosten der Sortierung

	Status Quo	Modell 1	Modell 1b	Modell 2
spezifische Sortierkosten	94 €/t	94 €/t	101 €/t	98 €/t
einwohnerspezifische Sortierkosten	2,6 €/E*a	3,3 €/E*a	3,5 €/E*a	3,5 €/E*a
Zusatzkosten gegenüber M0	-	0,7 €/E*a	0,9 €/E*a	0,9 €/E*a

Mit 94 €/t (ohne Sortierrestentsorgungskosten und Wertstofferlöse) liegen die für M0 errechneten Kosten im Vergleich zu Wettbewerbspreisen eher am oberen Rand, so dass die Modellierungsergebnisse als konservative Abschätzung gelten können.

Die zusätzlichen Kosten für M1 gegenüber M0 in Höhe von 0,7 €/E*a resultieren entsprechend den getroffenen vereinfachenden Annahmen ausschließlich aus der Zunahme der zu sortierenden Menge. Bei M2 schlagen sich im Wesentlichen zusätzliche Kapitalkosten für eine modulare Anlagenergänzung sowie zusätzlicher Personal- und Energiebedarf in einem gegenüber M0 um 0,9 €/*a höheren Wert nieder.

Zusätzliche Sortierkosten für die Untervariante 1b, zu deren Bemessung eine differenzierte Aussortierung weiterer formstabiler Kunststoffabfälle wie PC und PVC angenommen wurde, werden überschlägig auf (in Summe) ca. 7 € je t Sammelgemisch (vgl. Kap. 5.5) abgeschätzt (weitgehend unabhängig davon, wie viele neue Sorten über ein zusätzliches Sortiermodul generiert werden). Dies entspricht gegenüber der Grundvariante M1 zusätzlichen Kosten von ca. 0,25 €/E*a (bzw. 0,95 €/E*a gegenüber M0).

6.2.3 Verwertungserlöse / Verwertungskosten

Tabelle 6.4 weist die Ergebnisse der Abschätzungen zu Kosten und Erlösen an der Schnittstelle „Output Sortieranlage“ für Status quo M0 und Modellszenarien aus. Die Berechnungen sind im Einzelnen der Anlage 10 zu entnehmen.

Tabelle 6.4 Abschätzung von Verwertungserlösen/Verwertungskosten

Outputfraktion Sortierung	spez. Erlöse	Referenz-Modell	Modell 1	Modell 2
		1	2	3
Weißblech	100 €/t	0,32 €/E*a	0,50 €/E*a	0,51 €/E*a
Aluminium / NE-Metalle	30 bzw. 158 €/t	0,02 €/E*a	0,22 €/E*a	0,22 €/E*a
Folien > A 4	30 €/t	0,05 €/E*a	0,06 €/E*a	0,06 €/E*a
Kunststoffarten	150 €/t	0,24 €/E*a	0,57 €/E*a	0,57 €/E*a
Mischkunststoffe	-50 €/t	-0,46 €/E*a	-0,53 €/E*a	-0,53 €/E*a
FKN	0 €/t	0,00 €/E*a	0,00 €/E*a	0,00 €/E*a
PPK	0 €/t	0,00 €/E*a	0,00 €/E*a	0,00 €/E*a
Elektrokleingeräte	50 €/t			0,05 €/E*a
Rest	-70 €/t	-0,62 €/E*a	-0,62 €/E*a	-0,62 €/E*a
Summe		**-0,45 €/E*a**	**0,20 €/E*a**	**0,27 €/E*a**
Summe inkl. Frachtkosten (15 €/t)		**-0,87 €/E*a**	**-0,32 €/E*a**	**-0,27 €/E*a**
spezifische Erlöse je t Wertstoffgemisch		**-16,3 €/t**	**5,8 €/t**	**7,5 €/t**
spezifische Erlöse je t Wertstoffgemisch inkl. Frachtkosten		**-31,3 €/t**	**-9,2 €/t**	**-7,5 €/t**

Positive Werte = Erlöse, negative Werte = Kosten

Der Verkauf von Wertstoffen unterliegt den Gegebenheiten volatiler Märkte. Zum Ansatz gebracht wurden daher vorgabegemäß Durchschnittserlöse der letzten 5 Jahre (s. Kapitel 5). Ansätze und Ergebnisse spiegeln insofern nicht den Status quo wider, der zurzeit wieder von Ressourcenknappheit und entsprechend signifikant höheren Preisen für Sekundärrohstoffe geprägt ist. Bei Outputströmen, die einer Verwertungszuzahlung bedürfen, sind Daten eingesetzt, die mit Bezug auf 2010 recherchiert wurden.

Für NE-Metalle wurden 2 unterschiedliche spezifische Erlöse angesetzt. Der niedrigere Wert bezieht sich auf die Qualität im Status quo. Für M1 und M2 wurde ein Mischpreis gebildet, der die zusätzlichen Einträge mit dem in Kap. 5.2 ausgewiesenen Erlös für Geschirrschrotte (durchschnittlich 820 €/t) berücksichtigt.

In der Regel fallen in den Sortieranlagen mehrere (heizwertreiche) Restefraktionen in unterschiedlichem Aufbereitungsgrad und qualitativer Beschaffenheit an (AVV 191210 oder 191204), die hier mit einem mittleren Zuzahlungsbedarf von 70 €/t bewertet sind, denn nach eigenen Recherchen betragen die Zuzahlungskosten für die energetische Verwertung von Sortierresten/EBS-Vorprodukten ca. 70 €/t [Stand: Dezember 2010].

Die Szenarienberechnungen weisen unter Bezugsetzung auf die t erfasste Wertstoffmenge für die Schnittstelle der Sortierproduktbereitstellung für M0 einen Zuzahlungsbedarf von ca. 16 €/t und für M1 und M2 eine Erlöserwartung zwischen 6 €/t und 8 €/t aus.

Werden Frachtkosten zum Verwerter einbezogen, die an dieser Stelle pauschal mit 15 €/t angesetzt werden, ist für alle Modelle ein mehr oder weniger ausgeprägter Zuzahlungsbedarf zu verzeichnen, der für M1 und M2 um 0,55 €/E*a bzw. 0,60 €/E*a und damit allerdings signifikant unterhalb von M0 liegt.

Für die Variante M1b lässt sich aus den überschlägigen Annahmen (Transfer von insgesamt 0,3 kg/E*a aus Mischkunststoff zu Kunststoffartenprodukten mit Erlöserwartung von 250 €/t) eine Erlösverbesserung von 0,09 € / E*a gegenüber M1 errechnen.

6.2.4 Kosten für Restabfallentsorgung

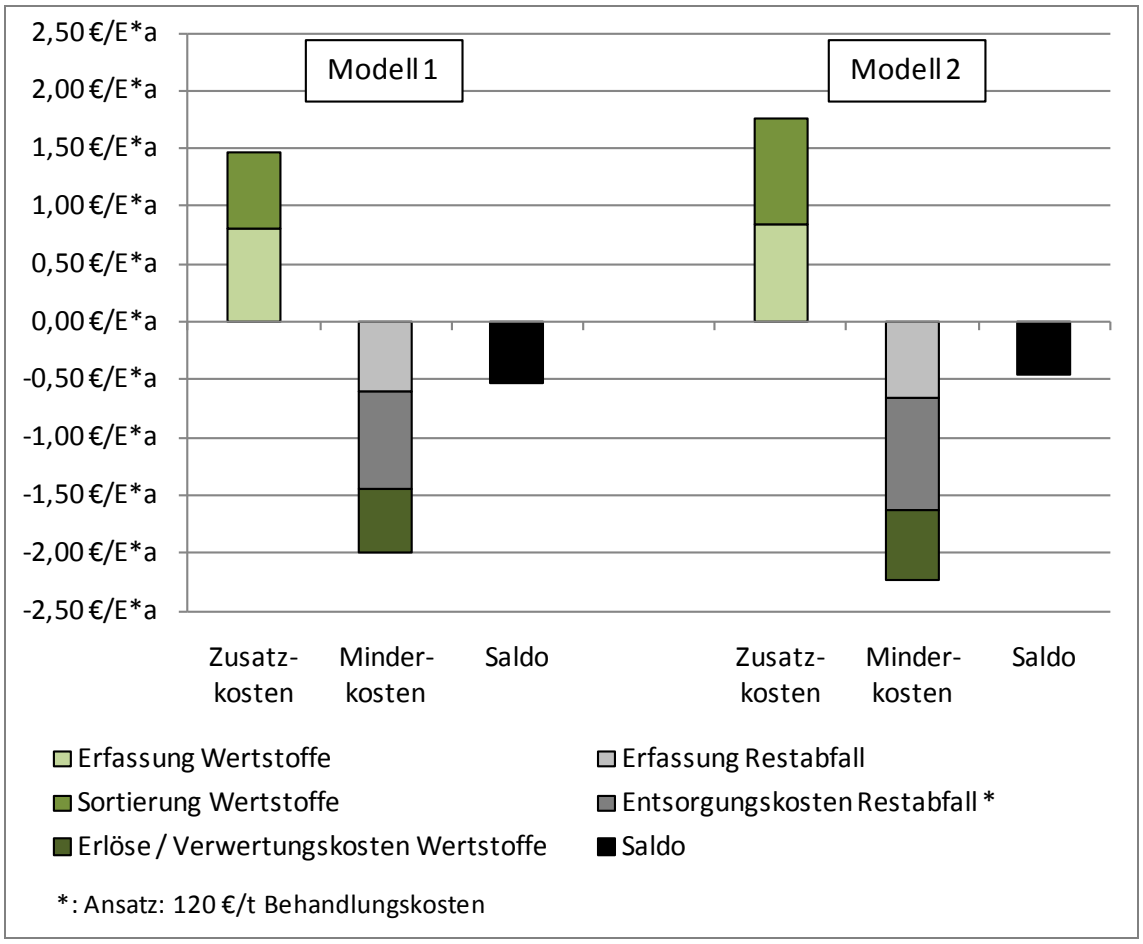
Kosten für die Restabfallbehandlung weisen wie Restabfallerfassungskosten sehr hohe Bandbreiten auf. Kranert (BMWi-Studie 2009) z.B. benennt eine Preisspanne von 70 €/t bis 340 €/t bei thermischer Restabfallbehandlung und berücksichtigt in Berechnungen eine Bandbreite von 90 - 180 €/t. Um bei der hier vorgenommenen Durchschnittsbetrachtung einen eher konservativen Ansatz zugrundezulegen, wurden 120 €/t angesetzt.

Für die Transfermengen ergibt sich für das Szenario M1 (7 kg/E*a) ein Betrag in Höhe von 0,84 €/E*a und für das Szenario M2 (8,2 kg/E*a) ein Betrag in Höhe von 0,89 €/E*a, der an Restmüllentsorgungskosten gegenüber M0 eingespart werden kann.

6.2.5 Gesamtkostenvergleich

In Abbildung 6.2 sind die prognostizierten Veränderungen in den einzelnen Kostenstellen unter Vernachlässigung aller bei der Fragestellung nach Finanzierung zu beachtenden unterschiedlichen Verantwortungsbereiche nochmals graphisch veranschaulicht. Die Nulllinie repräsentiert in dieser Darstellung das Referenzszenario M0.

Abbildung 6.2 Kostenveränderungen bei Umstellung auf die Wertstofftonne für die Modelle M1 und M2



In den Wertstofferfassungskosten wurde eine Umstellung von Sack- auf Behältererfassung berücksichtigt (Abschätzung 50 % der Haushalte bundesweit).

Kostensteigernd wirken sich gegenüber dem Referenzmodell erhöhte Aufwendungen in Erfassung und Sortierung der Wertstoffe aus.

Als Gutschriften für die Wertstofftonnenmodelle sind potentiell erschließbare Einsparungen in Restabfalllogistik und Restabfallbehandlung aufgetragen.

Der Graphik anschaulich zu entnehmen ist, dass sowohl bei M1 als auch bei M2 zusätzliche Kosten für Wertstofferfassung und -sortierung näherungsweise durch das restabfallseitige Einsparpotenzial kompensiert werden.

Wird die Veränderung der Erlössituation in Form einer Gutschrift berücksichtigt, ergeben sich im Saldo sowohl bei Modell 1 als auch bei Modell 2 gegenüber dem Referenzszenario Kostenvorteile in der Größenordnung von 0,5 €/E*a. Signifikante Unterschiede zwischen M1 und M2 sind nicht gegeben.

Auf die Darstellung der Untervariante M1b wurde in Abbildung 6.2 verzichtet, da sich gegenüber M1 nur Verschiebungen in den beiden Positionen Sortierkosten (+0,25 €/E*a) und Gutschrift für zusätzliche Erlöse (-0,09 €/E*a) zu berücksichtigen sind, die saldiert im Vergleich zu M1 eine Verteuerung von 0,16 €/E*a ergeben. Mit ca. 0,35 €/E*a verbleibt aber auch für M1b ein signifikanter Kostenvorteil gegenüber M0.

Da der Abschätzung sowohl von Wertstofferlösen als auch von Sortierkosten zugrundeliegende Ansätze als konservativ anzusehen sind, wird die ökonomische Vorteilhaftigkeit aller untersuchten Wertstofftonnenszenarien als signifikant erachtet.

6.3 Auswirkungen auf Restmüllaufkommen und – heizwert

Während die Einführung einer Wertstofftonne auf Seiten der Wertstofferfassung einen deutlichen relativen Anstieg der Sammelmengen in der Größenordnung von 25 % bis 30 % für M1 und M2 erwarten lässt, sind die relativen Veränderungen auf die Restmüllmenge als verhältnismäßig geringfügig zu charakterisieren. Bezogen auf den Referenzwert von 173,6 kg/E*a entsprechen die Transfermengen in die Wertstofftonne für M1 einer ca. 4 %igen und für M2 einer ca. 4,7 %igen Reduzierung.

Für die aus dem Restmüll in die Wertstofftonne transferierten Mengen errechnen sich mittlere Heizwerte von ca. 17.000 kJ/kg (M1) bzw. 17.600 kJ/kg (M2).

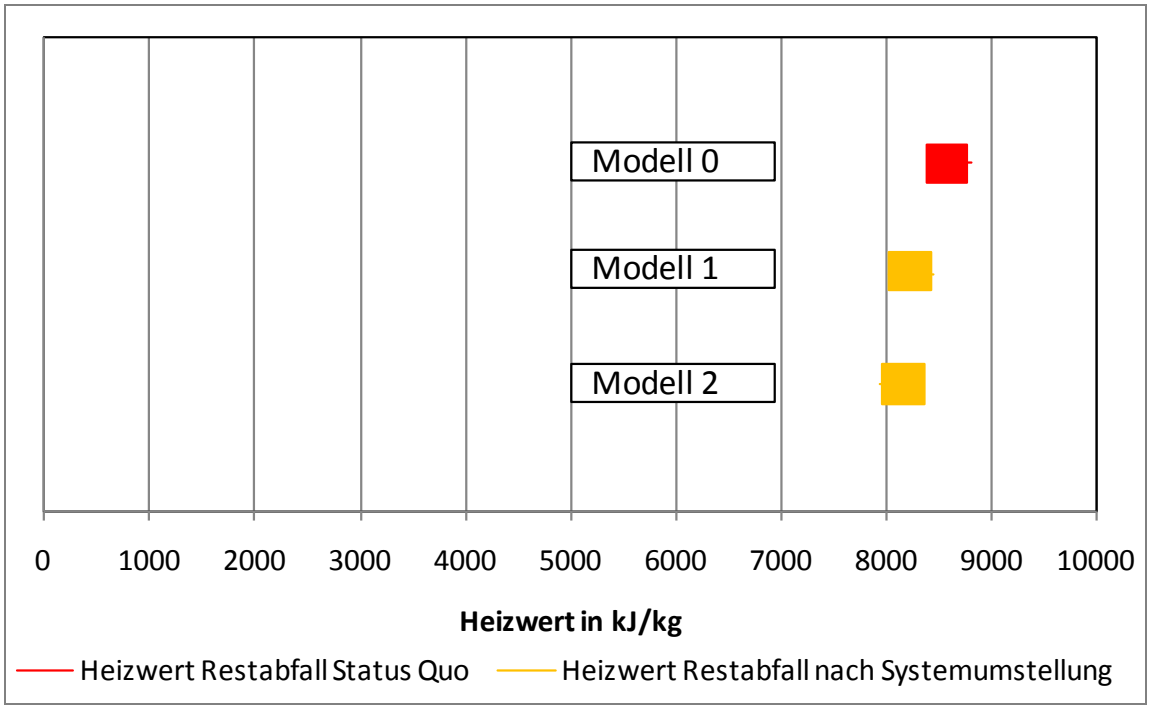
Die prognostizierte mittlere Zusammensetzung der im jeweiligen Modell vom Restabfall ins Wertstofferfassungssystem transferierten Menge und die spezifischen Heizwerte der einzelnen Stoffgruppen sind dem Anhang 11 zu entnehmen.

Die Bandbreite des Heizwertes kommunaler Restabfälle wird nach Literaturangaben (u.a. EdDE 2010, LFU Bayern 2008) auf 8.400 kJ/kg bis 8.800 kJ/kg bemessen.

Entsprechend der Massenverhältnisse resultieren aus den Wertstofftonnenszenarien restmüllseitige Heizwertreduzierungen in einer Größenordnung von 350 kJ/kg (M1) - 400 kJ/kg (M2) (siehe Abbildung 6.3).

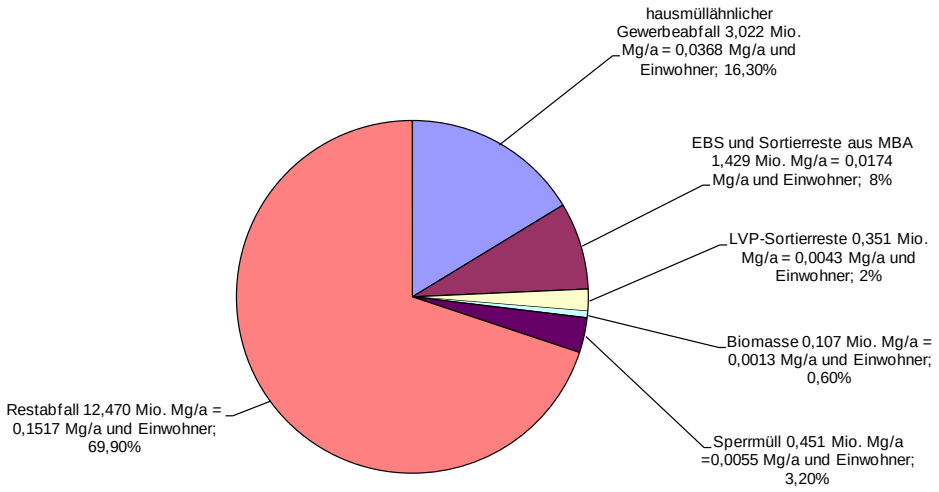
Der Grenzbereich selbstgängiger Verbrennung wird aber in keinem der beiden Modelle tangiert.

Abbildung 6.3 Auswirkungen der Wertstofftonnenmodelle auf den Heizwert des Restabfalls



Die Relevanz der Restabfallheizwertänderung wird zudem dadurch gemindert, dass Müllverbrennungsanlagen im Mittel nicht nur mit kommunalem Restabfall, sondern auch mit heizwertreicheren Abfällen beaufschlagt werden. Die Bedeutung einzelner Abfälle am Input von Müllverbrennungsanlagen wird aus Abbildung 6.4 ersichtlich.

Abbildung 6.4 Mittlere Abfallinput-Zusammensetzung der MVA in Deutschland 2007



Quelle: Energieeffizienzsteigerung und CO2-Vermeidungspotenziale bei der Müllverbrennung - Technische und wirtschaftliche Bewertung - April 2010 (leicht modifiziert, d.h. um Mg/a und Einwohner ergänzt)

Ob die geringfügige Heizwertentfrachtung des kommunalen Restabfalls, die sich für die Modelle M1 und M2 errechnet und die im Vergleich zur Massenreduzierung eine überproportionale Freisetzung von MVA-Kapazität bedeutet, als vor- oder nachteilig anzusehen ist, wird von den individuellen Gegebenheiten bestimmt.

Es verbleiben die positiven Effekte (geringere Schwermetalleinträge, Reduzierung der Reaktivität der MVA-Asche) einer höheren Metallentfrachtung der Umstellungsmodelle gegenüber M0, die aber bereits individuell im Kriterium „ökologische Vorteilhaftigkeit“ berücksichtigt wurden.

Vor dem Hintergrund der, absolut gesehen, geringfügigen Unterschiede zwischen M1 und M2 sowie der insgesamt relativ begrenzten Auswirkungen auf „Restabfallaufkommen und -heizwert“ wird diesem Kriterium daher übergreifend keine Relevanz zugemessen.

6.4 Ökologischer Vergleich der Modelle einer Wertstofftonne

Bei den Modellen M1 und M2 wurden der Wertstofftonne jeweils nur NVP-Gruppen zugewiesen, für die der Pfad der getrennten Erfassung und Verwertung gegenüber dem der Restmüllentsorgung unter ökologischen Gesichtspunkten als signifikant vorteilhaft eingestuft wurde (vgl. Kapitel 5).

Ergebnisse anderer Studien bestätigen auch die entsprechend naheliegende Einschätzung, dass somit auch die Modellszenarien M1 und M2 gemessen am Status quo eine ökologische Verbesserung darstellen.

Kranert u.a. (BMWi-Studie 2009) haben u.a. eine ökologische Bewertung unterschiedlicher Erfassungsysteme vorgenommen, die auch ein mit M1 korrespondierendes Szenario „Wertstofftonne (LVP + StNVP)“ einbezog. In der Wirkungskategorie Treibhausgase (GWP) wurden im Vergleich Wertstofftonne versus Status quo (bei Restabfallentsorgung jeweils über MHKW) Einsparungen von 0,462 * 10^6 kg CO_{2eq} je 100.000 E*a zugunsten des Wertstofftonnenszenarios errechnet.

Das Öko-Institut hat basierend auf den Untersuchungsergebnissen des Pilotversuchs zur Hamburger Wertstofftonne, bei dem neben LVP + StNVP auch Elektrokleingeräte zugewiesen waren, ebenfalls im Kriterium Treibhausgasemissionen eine spezifische Bewertung durchgeführt (Dehoust u. a. 2008). Im Rahmen einer Systemumstellung auf eine Wertstofftonne korrespondierend zu M2 wurde hierbei eine kurzfristige Steigerung der Wertstofferfassungsmenge durch Systemumstellung von 7 kg/E*a zugrundegelegt. Angesichts des niedrigen Startwertes der LVP-Erfassungsmenge im Status Quo (ca. 16 kg/E*a) wurde bei weiterer Systemoptimierung (verstärkte Öffentlichkeitsarbeit etc.) mit einem mittelfristigen Zuwachs von bis zu 14 kg/E*a gerechnet.

Gegenüber dem Status quo folgern Reduzierungen der Treibhausgasemissionen um ca. 0,7 bis zu 1,7 x 10^6 kg_{CO2eq} je 100.000 E*a unter den spezifischen Randbedingungen der „Hamburger Wertstofftonne“.

Die Zahlen unterstreichen nochmals die grundsätzliche ökologische Vorteilhaftigkeit von M1 und M2 gegenüber M0.

Tendenziell wird ferner deutlich, dass zwischen M1 und M2 ggfs. graduell abzustufen ist. Nach dem in Kapitel 5.9 genannten spezifischen Kennwert errechnet sich, dass der aus der Miterfassung von Elektrokleingeräten resultierende Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen mit ca. 0,3*10^6 kg CO_{2eq} je 100.000 E überdurchschnittlich ist. Zu berücksichtigen sind ferner die spezifischen Teilbeiträge zur Ressourcenschonung sowie nicht zuletzt der Aspekt der Schwermetallentfrachtung des Restabfalls, so dass M2 gegenüber M1 unter ökologischen Kriterien dann als die bessere Option zu charakterisieren wäre, wenn, wie bei der Individualbetrachtung für Hamburg angenommen, lediglich restabfallstämmige Anteile in die Wertstofferfassung

überführt werden (d.h. keine oder nur marginale Teilmengen über alternative Monoerfassungssysteme erschlossen werden können). Wie bereits in Kap. 5.9 ausgeführt, ermöglicht die derzeitige Datenlage keine fundierte Beurteilung bezüglich dieser für die Bewertung entscheidenden Prämisse, so dass an dieser Stelle lediglich auf den Bedarf spezifisch auf diese zentrale Fragestellung zugeschnittener Untersuchungen hingewiesen werden soll.

Auch bezüglich der Modellvariante M1b sind Grundlagen für eine fundierte Bewertung noch zu ermitteln. Unsicherheiten bestehen hier aber weniger in der Frage, ob ökologische Vorteilhaftigkeit gegenüber M1 besteht, sondern in welchem Maße diese vorausgesetzt werden kann. Vom Grundsatz her ist die hochwertige werkstoffliche Verwertung von Kunststoffen sowohl im Kriterium Ressourcenschonung als auch hinsichtlich des Treibhauseffektes gegenüber dem über die Zuweisung zum Mischkunststoffpfad gegebenen Verwertungsmix (Zementwerk, Kraftwerk, Hochofen, Formteile als Holz-/Betonersatz) spezifisch gesehen signifikant überlegen (vgl. Kap. 5 sowie z.B. IFEU 2005). Die zur weiteren Quantifizierung benötigten Daten zum spezifischen Aufkommen stofflich verwertbarer Anteile wurden bislang nicht erhoben. Da zur Bemessung der ökologischen Relevanz einer Modellvariante 1b nicht nur das summarische Aufkommen möglicher Sortierprodukte (überschlägige Annahme: 0,3 Kg/E*a) sondern das spezifische Aufkommen nach Kunststoffart (PVC, PC etc.) zu berücksichtigen ist, wird auf den Versuch einen quantitativen Annäherung verzichtet.

6.5 Ergebnis der Modellbewertung

Die (ergänzende) Bewertung auf Modellebene erfolgt nach dem bereits im Kapitel 5.11 erläuterten Schema. Der Status Quo bildet die Referenz (M0).

Die Ergebnisse werden in Tabelle 6.5 veranschaulicht

Tabelle 6.5 Bewertung ausgewählter Modelle einer Wertstofftonne

Kriterien	Modelle		
	M1	M1b	M2
Bedarf an zusätzlichen Sortierkapazitäten	●●○○	●●○○	●●○○
Gesamtkosten	●●●●	●●●○	●●●●
Auswirkungen auf Restab-fallaufkommen und –heizwert	●●○○	●●○○	●●○○
Ökologische Vorteilhaftigkeit	●●●○	●●●●	●●●○ bis ●●●●

●●●● signifikant positiv gegenüber Status Quo

●●●○ positiv gegenüber Status Quo

●●○○ vergleichbar Status Quo, Irrelevanz

Bedarf an zusätzlichen Sortierkapazitäten

In keinem der diskutierten Modelle werden neue Sortieranlagenkapazitäten bzw. -standorte benötigt. Für alle Modelle erweist sich dieses Kriterium entsprechend als irrelevant.

Gesamtkosten

Gegenüber M0 lassen alle Wertstofftonnenmodelle Reduzierungen der abfallwirtschaftlichen Gesamtkosten erwarten. Die Untervariante M1b wird wegen der spezifisch höchsten Aufwendungen in der Sortierung, die durch höhere Erlöse nach derzeitigem Kenntnisstand nur zum Teil kompensiert werden können, unter den Umstellungsvarianten diejenige mit den geringsten Kostenvorteilen gegenüber M0 sein.

Auswirkungen auf Restabfallaufkommen und -heizwert

Die gegenüber dem Status Quo zu erwartenden Veränderungen werden für alle Modelle als marginal angesehen. Das Kriterium wird daher als vergleichsweise irrelevant angesehen.

Ökologische Vorteilhaftigkeit

Auf Modellebene ist allen konfigurierten Wertstofftonnenvarianten ökologische Vorteilhaftigkeit gegenüber M0 beizumessen. Modell 1b lässt gegenüber M1 eine

Verbesserung erwarten; ob diese signifikant ist, bedarf der Klärung auf der Basis empirischer Erhebungen spezifischer Grundlagedaten.

Eine Schwäche szenarischer Bewertung wird an der vorgenommenen Einstufung von M2 ersichtlich, die in der summarischen Betrachtung auch von der Miterfassung StNVP geprägt ist. Die bezüglich der Miterfassung von Elektrokleingeräten in Kap. 5.11 getroffene ambivalente Beurteilung in Anbetracht ungeklärter Bedeutung der Konkurrenzsituation zum bestehenden Monoerfassungssystem wird hier überlagert.

Auf das Bewertungskriterium „ökologische Vorteilhaftigkeit“ aus der szenarischen Betrachtung wird daher zugunsten der individuellen Erörterung bei der Ableitung einer „Idealzusammensetzung“ der Wertstofftonne verzichtet.

7. Empfehlungen zur Konfiguration einer „idealen Wertstofftonne“ und deren Umsetzung

In Kapitel 5 wurden Sachverhalte und Argumente, die für oder gegen eine Zuordnung einzelner Materialgruppen zu einer einheitlichen Wertstofftonne sprechen, erläutert und bewertet. Ergänzende Beurteilungen anhand von Kriterien, die der Formulierung von exemplarischen Szenarien bedurften, sowie eine vergleichende Bewertung zum Status quo finden sich für ausgewählte Modellvarianten einer Wertstofftonne in Kapitel 6.

Aus den Modellvergleichen ist insbesondere zu schließen, dass durch die stoffspezifische Erweiterung des Erfassungskataloges - gegenüber dem Status quo einer Beschränkung auf Verkaufsverpackungen - unabhängig von der Detailausgestaltung innerhalb der untersuchten Systemgrenzen sowohl ökologische als auch im Mittel ökonomische Vorteile zu generieren sind.

Allen Betrachtungen liegt entsprechend der Aufgabenstellung die Prämisse der Einheitlichkeit des modifizierten Wertstofferfassungssystems zugrunde, wobei dies bezüglich der quantitativen Auswirkungen einer Umstellung auf die Wertstofftonne im engeren Sinne (d. h. einheitliche Erfassung über Tonnensystem) unterstellt wurde, da insbesondere die Erfassungsvariante über Säcke an physikalische Grenzen stößt. Weitaus wesentlicher ist aber der Aspekt, dass Einheitlichkeit in Bezug auf die Zuordnung von Materialgruppen vorausgesetzt wurde. Zum einen setzen die Abläufe, die sich durch die Wettbewerbssituationen zwischen den Dualen Systemen ab der Schnittstelle der Erfassung herausgebildet haben, eine Standardisierung des Wertstoffgemisches voraus. Ganz unabhängig von diesen Zwängen sind zum anderen leistungsfähige abfallwirtschaftliche Strukturen nach industriellen Maßstäben und deren Weiterentwicklung an die Bündelungsmöglichkeiten von Rohstoffen mit gleichen Verarbeitungserfordernissen gekoppelt, was für eine zumindest großräumige Vereinheitlichung spricht. Da in den einzelnen Modellvarianten keine komplex zu vernetzenden Stoffsysteme gebildet wurden, können die Ergebnisse der Bewertung auf Modellebene zur abschließenden Ableitung einer Idealzusammensetzung einer einheitlichen Wertstofftonne (unter dem Vorbehalt der Beachtung der betrachteten Systemgrenzen) vereinfachend den Materialgruppen zugeordnet werden. Tabelle 7.1 veranschaulicht das zusammengefasste Ergebnis.

Tabelle 7.1 Matrix mit wertstoffspezifischen und szenarischen Bewertungskriterien

NVP Materialgruppe / Kriterien	FE-Metalle	NE-Metalle	Kunst-stofffolien	Standard-polymere	PVC	Sonstige Kunst-stoffe	Elektro-klein-geräte	Holz	Textilien	Gummi	Batterien
Mengenrelevanz	●●●○	●●○○	●●●○	●●●○	●●○○	●●●○	●●●○	●●●●	●●●●	●○○○	○○○○
Selektivität der Getrennthaltung	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●○	●●●○	●○○○	○○○○	●●●●
Konkurrenzsituation zu bestehenden Verwertungsstrukturen	●●●○	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●○○○ bis ●●●○	●●○○	○○○○	●●○○	○○○○
Sortierbarkeit	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●○	●●●○	●○○○	○○○○	○○○○
technische Umsetzbarkeit/ Sortierung	●●●○	●●●○	●●●●	●●●●	●○○○ bis ●●●●	●○○○ bis ●●●●	●○○○	●○○○	●○○○	○○○○	○○○○
Sortierkosten	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●○○	●○○○ bis ●●●●	●○○○	●○○○	●●○○	●○○○	○○○○
Verwertbarkeit/ verwertungstechnische Eigenschaften	●●●●	●●●●	●●●○	●●●●	○○○○ bis ●●●○	●●●○ bis ●●●●	●●●○	●●○○	●○○○	●○○○	n.b
ökonomische Werthaltigkeit	●●●○	●●●●	●●○○	●●●○	○○○○ bis ●●●○	●○○○ bis ●●●○	●●○○	●●○○	○○○○	○○○○	n.b.
ökologische Vorteilhaftigkeit	●●●○	●●●●	●●●●	●●●●	●●○○ bis ●●●●	●●●○ bis ●●●●	●○○○ bis ●●●○	●●○○	○○○○	●●○○	○○○○
Bedarf an zusätzlichen Sortieranlagen*	M1 (inkl. M1b) und M2: ●●○○							n.b			
Auswirkungen auf Restabfallaufkommen und –heizwert*	M1 (inkl. M1 b) und M2: ●●○○							n.b			
Abfallwirtschaftliche Gesamtkosten *	M1 (inkl. M1b) und M2: ●●●●				●●●○ (M1b) bis ●●●● (M1 ohne M1b und M2)			n.b			

* Bewertung unter Randbedingung der Szenarien M1 und M2

Im Hinblick auf eine Miterfassung in einer gemeinsamen Wertstofftonne:

●●●● = sehr positive Bewertung, ●●●○ = positive Bewertung, ●●○○ = neutrale Bewertung, ●○○○ = negative Bewertung ○○○○ = sehr negative Bewertung

Für einige Materialgruppen lässt sich eine abschließende Empfehlung ohne eine Gewichtung einzelner Kriterien formulieren, da generell positive Bewertungen vorgenommen wurden. Dies betrifft StNVP aus den unterschiedlichen Metallen sowie aus Kunststoffen mit Ausnahme von PVC. Da PVC aber mangels Differenzierungsmöglichkeit durch den Nutzer nicht einzeln zur Disposition gestellt. werden kann, und im Übrigen eine Miterfassung gegenüber dem Status Quo unter ökologischen Aspekten in jeden Fall keine Verschlechterung verursacht, bezieht sich das positive Votum auf alle NVP-Kunststoffe. Die durchgängige Zuweisung der StNVP zur Wertstofftonne erscheint auch schon aus dem Grund geboten, dass ein partieller Vollzug durch den Nutzer bereits heute praktische Gegebenheit ist („intelligenter Fehlwurf"). Hohe Akzeptanz und synergetische Effekte, die über die Sammlung bis in die Verwertung erzielt werden können, sprechen für die Neuorientierung der Wertstofferfassung nach stoffspezifischen Kriterien.

Eindeutig fällt auch die Bewertung für die Materialgruppen **Textilien** und **Batterien** aus. Für beide gilt, dass bestehende funktionierende Parallelsysteme gefährdet würden, ohne dass über die Wertstofftonne adäquate Verwertungsoptionen erschlossen werden können. Im zentralen Bewertungskriterium „ökologische Vorteilhaftigkeit" fällt die Beurteilung auch entsprechend negativ aus; von einer Erfassung über die Wertstofftonne wird abgeraten.

Für **Gummi** lässt sich aus keinem Bewertungskriterium ein positives Argument für eine Erfassung über die Wertstofftonne ableiten.

Für die Materialgruppe **Holz** ist eine Kosten-Nutzen-Abwägung zu treffen. Da ein signifikanter ökologischer Nutzen durch eine Erfassung über die Wertstofftonne nicht angenommen werden kann, reduziert sich die Abwägung auf den wirtschaftlichen Aspekt: Unter den Randbedingungen, die über ein Wertstofftonnengemisch gegeben sind, sind insbesondere die zusätzliche Kosten für die Sortierung bei weitem nicht über Erlöse zu kompensieren. Von einer Berücksichtigung in der Wertstofftonne wird vor diesem Hintergrund abgeraten.

Kein abschließendes eindeutiges Votum kann bezüglich der Vorteilhaftigkeit einer Zuordnung von **Elektrokleingeräten** zur Wertstofftonne formuliert werden. Vom Grundsatz her ist für diese Materialgruppe die Monoerfassung (wie nach ElektroG) einer gemischten Erfassung in einer Wertstofftonne vorzuziehen. Die eventuelle

Vorteilhaftigkeit einer Sammlung über die Wertstofftonne ist an die Prämisse gebunden, dass entweder nur Mengen aus dem Restmüll in der Wertstofftonne erfasst werden bzw. dass Nachteile dieser Erfassungsvariante, die in erhöhtem Aufwand in der Sortierung, in Sortierverlusten, teilweise geringwertiger Verwertung und möglichen Querkontaminationen zu sehen sind, durch einen signifikant höheren Erfassungserfolg überkompensiert werden können.

Die aktuell verfügbaren Daten lassen in dieser entscheidenden Frage keine belastbare Aussage zu. Die Pilotvorhaben zur Wertstofftonne, deren Untersuchungsschwerpunkte vor bzw. kurz nach Inkrafttreten des ElektroG liegen, geben über die Konkurrenzsituation zum Erfassungsangebot der örE nach § 9 ElektroG keinen Aufschluss. Die Abschätzung möglicher Wanderungsmengen in eine Wertstofftonne sowie der aktuellen Akzeptanz der Monoerfassung ist wegen der zeitliche Kluft zwischen einzelnen Erhebungen und unterschiedlicher Abgrenzungssystematik nicht ausreichend sicher zu leisten.

Die Zuordnung von Elektrokleingeräten sollte dann erfolgen, wenn der Nachweis eines ausreichenden Erfassungserfolges für Elektrokleingeräte über (ggfs. zu optimierende) Mono-Erfassungsstrukturen nach ElektroG nicht erbracht werden kann. Die zurzeit anlaufenden neuen Pilotvorhaben einer Wertstofftonne unter Einbeziehung von Elektrokleingeräten sollten parallel genutzt werden, die Bedeutung von Substitutionseffekten zu klären und die Grundlagen einer bilanziellen Bewertung differenziert zu untersuchen.

Die zusammenfassende Empfehlung für eine „Idealzusammensetzung“ für die Wertstofftonne ist also eine Systemerweiterung um NVP-Kunststoffe, NVP-Fe-Metalle und NVP-NE-Metalle.

Dies gilt unabhängig davon, ob die Systemerweiterung unter Organisationsverantwortung der örE im Rahmen der kommunalen Abfallwirtschaft oder durch entsprechende Ausweitung des Prinzips der Produktverantwortung erfolgt. Zwar ist grundsätzlich in Betracht zu ziehen, dass bei letztgenannter Variante dynamische Mechanismen freigesetzt werden, die dazu führen, dass sich Verwertungsstrukturen neu bilden, so dass auch Materialgruppen im Sinne einer umfassenden „Werkstoffverordnung“ einbezogen werden könnten, für die eine Vorteilhaftigkeit aktuell nicht erkennbar ist. Aus der Umsetzung der Verpackungsverordnung lassen sich hierzu eine Reihe von

Beispielen auflisten. Vor selbigem Hintergrund ist aber auch feststellbar, dass solche Entwicklungen nur dann erfolgreich initiiert und nachhaltig umgesetzt werden konnten, wenn neben einer verbindlichen Zielvorgabe die materialspezifische Voraussetzung gegeben war, aus dem Abfall einen Sekundärrohstoff mit Verarbeitungseigenschaften zu generieren, die denen von Neuware entsprechen. Eine Voraussetzung, die angesichts der Eigenschaftsmerkmale realer Abfälle z. B. der Materialgruppen Gummi und Holz aus der gemischten haushaltsnahen Erfassung aber auszuschließen ist.

Ebenfalls unabhängig von der Trägerschaft der Organisationsverantwortung wird das Erfordernis gesehen, quantitative Zielvorgaben auch für die Nichtverpackungen zu formulieren.

Auch wenn die Wertstofftonne StNVP begrenzt wird, ist nur ausnahmsweise (z. B. für Kunststofffolien) davon auszugehen, dass die über die VerpackV bestehenden Vorgaben ausreichend sind, den Zielsetzungen der Einführung einer Wertstofftonne in hinreichend hohem Maß zu entsprechen. Um auf operativer Ebene durch vertragliche Vorgaben notwendige spezifische Prozessanpassungen zu initiieren bzw. sicherzustellen, bedarf es separater Quotenvorgaben. Diese werden als Steuerungs- und Kontrollinstrument umso wirksamer und praktikabler sein, je differenzierter nach einzelnen Materialarten, d.h. Werkstoffen bzw. ggf. Produktgruppen differenziert wird. Für die „stoffgleichen“ NVP wird es insbesondere für erforderlich angesehen, unterschiedliche Verwertungspfade in der Differenzierung von Quoten nach Materialart aufzugreifen (z. B. ferromagnetische Metalle von Bunt-, Leichtmetallen und Edelstählen abgrenzen; ggfs. separate Vorgaben für unterschiedliche Kunststoffe) bzw. Produktgruppen (z.B. CD/DVD aus PC).

Der Änderungsbedarf, der aus einer Erweiterung auf die Herstellung einzelner neuer Sorten in der Sortierung resultiert, wird sowohl technisch als auch ökonomisch vom Grundsatz her, d. h. nach industriellen Maßstäben, als überschaubar abgeschätzt. Trotzdem ist davon auszugehen, dass entsprechende Monofraktionen nur dann sortiert werden, wenn dieses einen ökonomischen Vorteil bringt oder entsprechende gesetzliche Vorgaben eine separate Verwertung und eine entsprechende Nachweisführung verlangen.

8. Literaturverzeichnis

ATUS 2009	ATUS GmbH/INFA GmbH: Wissenschaftliche Begleitung des Versuches „Hamburger Wertstofftonne“ im Auftrag der Stadtreinigung Hamburg, Juni 2009
BMU 2010 (a)	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Verpackungen gesamt; Verbrauch, Verwertung, Quoten 1991 bis 2008 in der Bundesrepublik Deutschland
BMU 2010 (b)	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Elektro- und Elektronikgeräte in Deutschland: Daten 2007 und 2008 zur Erfassung, Behandlung und Wiederverwendung, URL: www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/daten_elektrogeraete_2007_2008_bf.pdf (Zugriff 22.12.2010)
Bünemann / Rachut 2010	Bünemann, A. und Rachut, G.: Modelldiskussion zur Erweiterung der Wertstofftonne in: Tagungsband zum cyclos focus Congress, Berlin 2010
Christiani 2010	Christiani, J.: Auswirkungen einer erweiterten Wertstofftonne auf Sortierung und Verwertung; in: Tagungsband zum cyclos focus Congress, Berlin 2010
cyclos 2006	Bericht über die Durchführung einer Sortieranalyse von Elektro- und Elektronikaltgeräten aus der Gelben Tonne plus in Berlin, Mai 2006 und Bericht über die Durchführung einer Sortieranalyse von Elektro- und Elektronikaltgeräten aus der Gelben Tonne plus in Leipzig, Juli 2006
Diverse Systembetreiber	Mengenstromnachweise (unveröffentlicht)

Dehoust u.a. 09/2008	Dehoust u.a.: „Optimierung der Abfallwirtschaft in Hamburg unter dem besonderen Aspekt des Klimaschutzes“, Gutachten im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg, September 2008
ear 2010	Stiftung ear: Zusammensetzung gemischter Sammelgruppen. URL: www.stiftung-ear.de/aktuell/aktuelle_mitteilungen/kennzahlen/zu-sammensetzung_gemischter_Sammelgruppen (Zugriff: 22.12.2010)
EdDE 2010	Entsorgergemeinschaft der deutschen Entsorgungswirtschaft: EdDE-Dokumentation 13: Energieeffizienzsteigerung und CO_2-Vermeidungspotenziale bei der Müllverbrennung – Technische und wirtschaftliche Bewertung, April 2010
Fricke u. a.	Fricke, K.; Bahr, T.: Stoffliche oder energetische Verwertung – die Wahl der Verwertungsart als Schlüssel zur Energieeffizienz, 12. Infoseminar, Juni 2010
GRS Batterien 2004 und 2008	Nicht veröffentlicht
GRS Batterien 2010	Erfolgskontrolle 2009 nach § 15 BattG GRS Batterien, URL: http://www.grs-batte-rien.de/fileadmin/user_upload/Download/GRS_Erfolgskontrolle_Download.pdf, Zugriff 20.12.2010“
Hagemann Umwelttechnik GmbH 2010	Hagemann Umwelttechnik GmbH: Ergebnisse der Sortieranaly-se des Inputmaterials „Grüne Tonne“ aus dem Landkreis Karlsruhe, 2010
HTP 2006	Ermittlung der Sortierkapazitäten an LVP-Sortieranlagen, Studie im Auftrag der DSD AG, Dezember 2006, unveröffentlicht
HTP 2010	Interne Datenbank HTP
HTP/cyclos 2010	Nicht veröffentlicht

HTP / IFEU 2001	Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen, Schlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 298 33719, Aachen, Heidelberg, 2001
HTP / INFA 1999	Optimierung von Getrennterfassungssystemen des Dualen Systems unter Berücksichtigung von Sammelleistungen, Wirtschaftlichkeit und Hygiene, Studie im Auftrag der DSD GmbH, Aachen / Ahlen 1999
IFEU 2005	Nachtrag zum Forschungsvorhaben „Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland“ UFO-Plan-Vorhaben FKZ 20392309, Heidelberg, 2005
IFEU / Öko-Institut	Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des BDE, Darmstadt/Heidelberg/Berlin, Januar 2010
Kern u.a. 2001	Kern, M.; Sprick, W.: Abschätzung des Potentials an regenerativen Energieträgern im Restmüll, in: Wiemer, K., Kern, M. (Hrsg.): Bio und Restabfallbehandlung V, biologisch-mechanisch-thermisch, Witzenhausen 2001
Knudsen 11/2009	Reader zur Sachverständigenausbildung zum Batteriegesetz
Kranert et al. (2009) (BMWi-Studie)	Andreas Brenk, Heike Ehrmann, Martin Kranert, Detlef Clauß, Michaela Berechet, Nicolas Escalante, Thorsten Beckers, Max Grenz, Wiebke Schüttig: Ökonomische und ökologische Bewertung der getrennten Sammlung von verwertbaren Abfällen aus privaten haushaltungen sowie vergleichbaren Anfallstellen. Studie von IGES Institut, Universität Stuttgart – ISWA und TU Berlin – WIP, erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Projekt Nr. 26/08. Berlin, Oktober 2009

Langen 2010	Langen, M.: Gelbe Tonne^{plus} als Gestaltungsform der Wertstofftonne – Erfahrungen aus der Praxis Tagung Regionales Abfallforum in Nonnweiler, Saarland, 2010
Langen u. a. 2008	Langen, M.; Weber, H.; Oetjen-Dehne, R.; Sabrowski, R.: Erfahrungen mit dem System Gelbe Tonne^{plus} in der Stadt Leipzig und dem Land Berlin in: Müll und Abfall, 05/2008
LFU Bayern 2008	Bayrisches Landesamt für Umwelt: Restmüllzusammensetzung, Einflussfaktoren, Abhängigkeit von lokalen, abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen, Endbericht zum Forschungsvorhaben, November 2008
Panning	Panning, R.: Hausmüllanalysen 2002/2003 im Landkreis Stendal und 2000/2001 in Magdeburg, Internet-Veröffentlichung der Fa. IRMA GmbH
Pretz 2008	Pretz, T: Rohstoffkongress 2008, RWTH Aachen, 10/2008
Rantzsch 2010	Rantzsch, U.: mündliche Auskünfte der ALBA Leipzig GmbH
Schweitzer 2005	Schweitzer, E.: Versuche in Leipzig zur gemeinsamen Erfassung von LVP und E-Schrott – mögliche Konsequenzen für die Entsorgungswirtschaft in: Wiener, Kern: Tagungsband zum 17. Kasseler Abfallforum, 2005
Statistisches Bundesamt 2008	Bevölkerungsstand 2008
Statisches Bundesamt, 2010 (a)	Abfallbilanz 2008 (endgültig), Juli 2010
Statistisches Bundesamt, 2010 (b)	Zeitreihe zum Abfallaufkommen, Juli 2010

Ude 2009	Ude, U.: Energieeffizienz und deren Steigerung in der Abfallverbrennung, Internationaler Workshop „Stand und Perspektiven für Abfallwirtschaft, Abfallentsorgung in EU und Russland“, Juli 2009
Urban u.a. 2010	Arnd Urban, Stephan Löhle, Gerhard Halm, Stefan Stremme: Erfahrungen mit dem System nasse und trockene Tonne in Kassel“, September 2010
VKS 2008	VKS Informationsschrift 71; Betriebsdatenauswertung 2006, Köln 2008
Winterberg 2010	Winterberg, S.: Modellvorstellungen zur Erweiterung der Hamburger Wertstofftonne; in: Tagungsband zum cyclos focus Congress, Berlin 2010

9. Anlagen

Anlage 1: Übersicht über NVP-Stoffgruppen mit Zuordnung zu Verpackungsmaterialgruppen nach Branchen-, Sortiments- und Produktgruppen

Stoffgruppen NVP	Stoffgruppen detailliert	Produktspezifikation	korrespondierende Verpackungs-Materialgruppe	Beispielkatalog	Branchengruppe	Sortimentsgruppe	Produktgruppe
Eisenschrott	Fe-Metall - Nichtverpackung	Weißblech	Weißblech / Weißblechverbunde	Eisenwaren (z.B. Nägel, Schrauben)	Bauwesen	Eisenwaren / Werkzeuge / Beschläge	-
				Werkzeug	Bauwesen	Eisenwaren / Werkzeuge / Beschläge	-
				Fahrradklingel	Technik	Fahrzeuge / Fahrzeugbedarf	Zweirad / Motorrad / Zweiradausrüstung / Ersatzteile / Zubehör
				Heftklammern	Papier, Verpackung, Büro	Papierwaren, Schreibwaren, Bürobedarf (PBS)	-
				Blumenkelle	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Gartenbedarf
				Räder für Kinderwagen, Schubkarre (Metall und KS)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Spielwaren / Kinderausstattung
				Besteck	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Töpfe, Pfannen	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Locher (Metall und KS)	Papier, Verpackung, Büro	Papierwaren, Schreibwaren, Bürobedarf (PBS)	-
				Küchenartikel aus Metall und KS (z.B. Küchenreibe, Dosenöffner)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Wäscheständer	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf oder Metallwaren

Stoffgrup-pen NVP	Stoffgruppen detailliert	Produkt-spezifika-tion	korrespon-dierende Verpa-ckungs-Material-gruppe	Beispielkatalog	Branchengruppe	Sortimentsgruppe	Produktgruppe
Aluminium	Aluminium - Nichtverpa-ckung	Aluminium	Aluminium / Aluminium-verbunde	Teflonpfannen	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Jalousien	Wohnambiente	Möbel / Innenausstattung	Innenausstattung / Wohnaccessores
				Grillschalen (ohne Produkt)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Aluminiumverbundplatten (Aluminium und Holz)	Bauwesen	Ausbaubedarf	-
				Bilderrahmen	Wohnambiente	Foto / Optik / Unterhaltungselekronik	Rahmen / Alben
NE - Schrott	NE - Schrott - Nichtverpa-ckung	-		Messingschale	Wohnambiente	Möbel / Innenausstattung	Innenausstattung / Wohnaccessores
				Zinnbecher	Wohnambiente	Möbel / Innenausstattung	Innenausstattung / Wohnaccessores
				Beschläge	Bauwesen	Eisenwaren / Werkzeuge / Beschläge	-
nicht magneti-sierbare Stähle	nicht magnetisier-bare Stähle - Nichtverpa-ckung			Nudeldurchschlag	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Edelstahlpfannen	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Beschläge (Guss)	Bauwesen	Eisenwaren / Werkzeuge / Beschläge	-
				Dekorationsartikel	Wohnambiente	Möbel / Innenausstattung	Innenausstattung / Wohnaccessores
				Edelstahlbleche	Technik	Zulieferindustrie (Halbzeuge, Rohteile, Fertigteile)	Bleche, Platten, Profile
Folie > DIN A4	Folien > DIN A4 - Nichtverpa-ckung	Folien		Abdeckplanen	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Gartenbedarf
				Silofolie	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Gartenbedarf

Stoffgrup-pen NVP	Stoffgruppen detailliert	Produkt-spezifika-tion	korrespon-dierende Verpa-ckungs-Material-gruppe	Beispielkatalog	Branchengruppe	Sortimentsgruppe	Produktgruppe
				Müllsäcke, -beutel	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Schutzhüllen (z.B. für Gartenmöbel)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Gartenbedarf
				Rettungsfolie (met. Folie)	Technik	Fahrzeuge / Fahrzeugbedarf	Zubehör / Ersatzteile
PE	PE-Nichtverpa-ckung	Polyethylen (PE) / Misch-kunststoffe		Frischeboxen (PE)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Schutzkappen/-hülsen (z.B. für Rasierapparate, sonstige Schneidwerkzeuge)	Medizinprodukte / Gesundheitswesen	Körperpflege / Wellnessprodukte / Fitnessprodukte / Nahrungser-gänzung	-
				Nudeldurchschlag (PE)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Kinderspielzeug (PE, PP)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Spielwaren / Kinderausstattung
PP	PP - Nichtverpa-ckung	Polypropylen (PP) / Misch-kunststoffe		Besteckeinlagekästen (PP)	Papier, Verpackung, Büro	EDV, Multimedia, Internet	EDV-Hardware, Peripherie
				Messbecher (PP)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Filmpatronen/-döschen	Wohnambiente	Foto / Optik / Unterhaltungselekronik	Foto / Kameras / Objektive / Zubehör
				Werkzeugkasten (PP, PE)	Bauwesen	Heimwerkerbedarf	-
PS	PS - Nichtverpa-ckung	Polystyrol (PS) / Misch-kunststoffe		Briefablagen (PS, PP)	Papier, Verpackung, Büro	Papierwaren, Schreibwaren, Bürobedarf (PBS)	-
				Videokasetten (PS)	Wohnambiente	Foto / Optik / Unterhaltungselekronik	Video / Ausrüstung / Spiele / Zubehör
				Blumenkästen (PS)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Gartenbedarf
				CD/DVD-Hüllen (PS, PP)	Papier, Verpackung, Büro	EDV, Multimedia, Internet	EDV-Hardware, Peripherie

Stoffgrup-pen NVP	Stoffgruppen detailliert	Produkt-spezifika-tion	korrespon-dierende Verpa-ckungs-Material-gruppe	Beispielkatalog	Branchengruppe	Sortimentsgruppe	Produktgruppe
EPS	EPS - Nichtverpa-ckung	Expandier-tes Polystyrol		Dämmplatten	Bauwesen	Ausbaubedarf	-
				Thermoboxen	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
sonstige Kunststoffe exkl. Kunststoff-arten (PE, PP, PET, PS)	sonstige Kunststoffe - Nichtverpa-ckung	Misch-kunststoffe	Kunststoff / Kunststoff-verbunde	Filzstifte, Kugelschreiber (KS u.a.)	Papier, Verpackung, Büro	Papierwaren, Schreibwaren, Bürobedarf (PBS)	-
				Sortiereinsätze bzw. Einsätze mit Spielfunktion (z.B. Chemiebaukasten, Gesellschaftsspiele)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Spielwaren / Kinderausstattung
				Einwegspritzen	Medizinprodukte / Gesundheitswesen	Pharmazeutika / Apotheken-bedarf	-
				Wursthaut (KS, sonst. Mat.)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Tret-Abfalleimer (KS und Aluminium)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Kleiderbügel (KS und Metall)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Schminkspiegel (KS und Metall)	Medizinprodukte / Gesundheitswesen	Körperpflege / Wellnessprodukte / Fitnessprodukte / Nahrungser-gänzung	-
				Feuerzeuge (KS und Metall)	Nahrungsmittel / Weine / Spirituosen	Raucherbedarf	-
				CD / DVD (PC)	Papier, Verpackung, Büro	EDV, Multimedia, Internet	EDV-Hardware, Peripherie
				Taschen für Fotoapparate, Zubehör (KS, Textil u.a.)	Wohnambiente	Foto / Optik / Unterhaltungselekronik	Foto / Kameras / Objektive / Zubehör
				Campinggeschirr (PP, PC, oder SAN)	Mode / Sport / Accessoires	Sportartikel	Hartware
				Kühlakkus	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf

Stoffgrup-pen NVP	Stoffgruppen detailliert	Produkt-spezifika-tion	korrespon-dierende Verpa-ckungs-Material-gruppe	Beispielkatalog	Branchengruppe	Sortimentsgruppe	Produktgruppe
				Stegplatten (PC)	Bauwesen	Ausbaubedarf	-
				Salz-/Pfeffermühlen (Acrylglas)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Bilderrahmen (KS, sonst. Mat.)	Wohnambiente	Foto / Optik / Unterhaltungselekronik	Rahmen / Alben
				Rückleuchtenglas, Reflektor, Lichtleiter (Plexiglas)	Technik	Fahrzeuge / Fahrzeugbedarf	Zweirad / Motorrad / Zweiradausrüstung / Ersatzteile / Zubehör
				Blenden, Wippen, Abdeckun-gen für Schalter und Steckdosen (ABS)	Technik	Elektotechnik / Elektronik	Haustechnik / Gebäudesys-temtechnik
				Spielzeug (z.B. Playmobil) (ABS)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Spielwaren / Kinderausstattung
				Zeichengeräte (SAN)	Papier, Verpackung, Büro	Papierwaren, Schreibwaren, Bürobedarf (PBS)	-
				Billardkugeln (SAN)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Hobby / Basteln / Handarbeit
				Kletterseile (PA)	Mode / Sport / Accessoires	Sportartikel	Hartware
				Akkustikschaumstoff (PUR)	Bauwesen	Ausbaubedarf	-
				Bauschaum (PUR)	Bauwesen	Ausbaubedarf	-
				Fussball (PUR)	Mode / Sport / Accessoires	Sportartikel	Hartware
				Schutzhelme (Kevlar)	Mode / Sport / Accessoires	Bekleidung	Arbeitsbekleidung / Berufsbekleidung / Schutzbe-kleidung
				Fahrradreifen (Kevlar)	Technik	Fahrzeuge / Fahrzeugbedarf	Zweirad / Motorrad / Zweiradausrüstung / Ersatzteile / Zubehör

Stoffgruppen NVP	Stoffgruppen detailliert	Produkt-spezifikation	korrespondierende Verpackungs-Material-gruppe	Beispielkatalog	Branchengruppe	Sortimentsgruppe	Produktgruppe
				Schnittschutzhandschuhe (Kevlar)	Mode / Sport / Accessoires	Bekleidung	Arbeitsbekleidung / Berufsbekleidung / Schutzbekleidung
Folie < DIN A4	Folien < DIN A4 - Nichtverpackung	Mischkunststoffe		Gefrierbeutel (PE)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Duschhaube (PE)	Medizinprodukte / Gesundheitswesen	Körperpflege / Wellnessprodukte / Fitnessprodukte / Nahrungsergänzung	-
				Frischhaltefolien	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Handschuhe bei Haarfärbemitteln	Medizinprodukte / Gesundheitswesen	Körperpflege / Wellnessprodukte / Fitnessprodukte / Nahrungsergänzung	-
				Dokumentenhülle (PE, PP)	Papier, Verpackung, Büro	Papierwaren, Schreibwaren, Bürobedarf (PBS)	-
				Frühstücksbeutel (PE)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
PVC	PVC-Nichtverpackung	-		Kabelkanäle (PVC selbstlöschend)	Technik	Elektotechnik / Elektronik	Lichttechnik
				Schlauchboot (PVC)	Mode / Sport / Accessoires	Sportartikel	Hartware
				Duschvorhang (PVC)	Wohnambiente	Möbel / Innenausstattung	Innenausstattung / Wohnaccessores
Großformatige Kunststoffartikel	Eimer / Kanister >5l bzw. grosse Formstabile Kunststoffe - Nichtverpackung	Kunststoff-Hohlkörper		Putzeimer (PE, PP)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Benzinkanister (PE, PP)	Technik	Fahrzeuge / Fahrzeugbedarf	Zubehör / Ersatzteile
				Wäschekorb (PE, PP)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Faltkisten, Transportkisten, Stapelboxen (PE, PP)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf

Stoffgrup-pen NVP	Stoffgruppen detailliert	Produkt-spezifika-tion	korrespon-dierende Verpa-ckungs-Material-gruppe	Beispielkatalog	Branchengruppe	Sortimentsgruppe	Produktgruppe
PPK	PPK - Nichtverpa-ckung	-	-	Druckerzeugnisse	Papier, Verpackung, Büro	Druckerzeugnisse / Werbung / Displays	-
				Zeitungen, Zeitschriften	Papier, Verpackung, Büro	Verlagserzeugnisse	-
				graf. Papiere	Papier, Verpackung, Büro	Druckerzeugnisse / Werbung / Displays	-
				Briefumschläge	Papier, Verpackung, Büro	Papierwaren, Schreibwaren, Bürobedarf (PBS)	-
Holz	Holz - Nichtverpa-ckung	-	-	Leisten, Bretter, Bauholz	Bauwesen	Holz	-
				Holzspielzeug	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Spielwaren / Kinderausstattung
				Besteckeinlagekästen (KS oder Holz)	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
				Bilderrahmen	Wohnambiente	Foto / Optik / Unterhaltungselekronik	Rahmen / Alben
Textilien	-	-	-	Kleidung	Mode / Sport / Accessoires	Bekleidung	Babybekleidung / Kinderbe-kleidung
				Haushaltskleintextilien	Wohnambiente	Möbel / Innenausstattung	Innenausstattung / Wohnaccessores
				Handschuhe	Mode / Sport / Accessoires	Lederwaren / Schuhe	Handschuhe / Gürtel / Accessoires
Schuhe	-	-	-	Hausschuhe	Mode / Sport / Accessoires	Lederwaren / Schuhe	Schuhe / Stiefel
				Sportschuhe	Mode / Sport / Accessoires	Sportartikel	Sportschuhe
				Straßenschuhe, Stiefel	Mode / Sport / Accessoires	Lederwaren / Schuhe	Schuhe / Stiefel
				Gummistiefel (Gummi, PVC oder PUR)	Mode / Sport / Accessoires	Lederwaren / Schuhe	Schuhe / Stiefel
				Flip-Flops (chlorierte Kunststoffe)	Mode / Sport / Accessoires	Lederwaren / Schuhe	Schuhe / Stiefel

Stoffgrup-pen NVP	Stoffgruppen detailliert	Produkt-spezifika-tion	korrespon-dierende Verpa-ckungs-Material-gruppe	Beispielkatalog	Branchengruppe	Sortimentsgruppe	Produktgruppe
Gummi / Latex	-	-	-	Bälle	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Spielwaren / Kinderausstattung
				Gymnastikbänder	Mode / Sport / Accessoires	Sportartikel	Hartware
				Lufballons	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Spielwaren / Kinderausstattung
				Einweghandschuhe	Mode / Sport / Accessoires	Bekleidung	Arbeitsbekleidung / Berufsbekleidung / Schutzbe-kleidung
Silikon	-	-	-	Schutzhülle für Handys	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	-
				Schläuche	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Gartenbedarf
				Ohrstöpsel	Mode / Sport / Accessoires	Bekleidung	Arbeitsbekleidung / Berufsbekleidung / Schutzbe-kleidung
				Formen für Eiswürfel	Wohnambiente	Glas / Porzellan / Geschenke / Haushalt	Haushaltsbedarf
Batterien	-	-	-	-			
E-Schrott	-	-	-	-			

Polyvinylchlorid (PVC)
Polycarbonat (PC)
Plexiglas, Acrylglas - Polymethylmethacrylat (PMMA)
Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)
Styrol-Acrylnitril (SAN)
Polyamide (PA)
Polyurethane (PUR)
Kevlar (Aramide)

Anlage 2: Überschlägige Kostenrechnung für die Vorsortierung auf Umschlagplätzen bei einer “Sack in Behälter-Lösung“

Überschlägige Betriebskostenschätzung
für die Vorsortierung auf Umschlagplätzen
bei einer "Sack in Behälter-Lösung"

INVEST

	Gesamtinvest
Maschinentechnik	
Maschinen, Fördertechnik, Elektrotechnik	279.000 €
Bautechnik	
Summe Gebäude, sonst. bauliche Einrichtungen	n.b.
Fahrzeuge	
1 Radlader, 2 Stapler	n.b.
Projektnebenkosten	
Planung, Gutachten, Gebühren	n.b.

Rahmendaten	**Jahresdurchsatz**	**Betriebszeit**	**Verfügbarkeit**	**Laufzeit**
	3.800 t/a	**2000 h**	**95,0%**	**1900 h**

BETRIEBSKOSTEN

Annuitäten	Invest	Zeitraum	Zinssatz	Kosten	
Bauteil	n.b.	25 a	5,5%	0 €/a	
Maschinenteil	279.000 €	6 a	5,5%	55.800 €/a	
Fahrzeuge	n.b.	4 a	5,5%	0 €/a	
Projektnebenkosten	n.b.	8 a	5,5%	0 €/a	55.800 €/a

Sonstige Verwaltungskosten	Anzahl	Bezugsumme	Zinssatz	Kosten	
Versicherung Maschinenteil		279.000 €	1,0% p.a.	2.800 €/a	
Versicherung Bauteil		n.b.	0,5% p.a.	0 €/a	
pauschal sonst. Overheadkosten ohne Gewinn				0 €/a	2.800 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Fix					**58.600 €/a**

Kosten für Reparaturen/Instandhaltung		Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Instandhaltung Bauteil		n.b.	1,0% p.a.	0 €/a	
Instandhaltung Maschinenteil		279.000 €	3,0% p.a.	8.400 €/a	
Instandhaltung Fahrzeuge (0,5 Radlader)		180.000 €	8,0% p.a.	7.200 €/a	15.600 €/a
Betriebsmittel	Bezug		spezifische Kosten	Kosten	
Kraftstoffe	Verbrauch	18000 l/a	1,20 €/l	21.600 €/a	
Schmierstoffe	pauschal			n.b.	
Kosten für Zerkleinerung	entfällt				
elektrische Energie	Anschlussleistung	30 kW	0,120 €/kWh	4.700 €/a	
thermische Energie	Anschlussleistung			entfällt	
Wasser	Verbrauch			entfällt	26.300 €/a
Personalkosten	Anzahl	Anzahl je Schicht	spezifische Kosten	Kosten	
Betriebsleiter				0 €/a	
Verwaltung / Waage				0 €/a	
Sekretariat				0 €/a	
Schichtleiter				0 €/a	
Maschinist / Fahrer		0,5	17 €/h	17.000 €/a	
Sortierer/Hilfskraft		2	15 €/h	60.000 €/a	77.000 €/a
Sonstige Betriebskosten		Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Sonstige nicht näher spezifizierte Kosten		177.500 €/a	1,0% p.a.	1.800 €/a	1.800 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Variabel					**120.700 €/a**

SUMME KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**179.300 €/a**
SPEZIFISCHE KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**47 €/t**

Anlage 3: Abschätzung der Outputmengen aus der Sortierung für M1 und M2

Modell 1: VP + StNVP

Stoffgruppe		Input-zusammen-setzung Wertstoff-tonne	Aus-bringen	Aus-bringen in MKS-Fraktion	Output-menge bezogen auf Stoffgruppe	Reinheit im Produkt	Output-menge Sortier-anlage bei 100 % Kunststoff-arten-sortierung	Output-menge Sortier-anlage bei 90 % Kunststoff-arten-sortierung	Output-bilanz
		1	2	3	4	5	6	7	8
Weißblech	VP	3,5 kg/E*a	95 %		3,4 kg/E*a	93 %	3,6 kg/E*a	3,6 kg/E*a	10,4 %
	StNVP	1,3 kg/E*a	95 %		1,3 kg/E*a	93 %	1,4 kg/E*a	1,4 kg/E*a	3,9 %
Aluminium	VP	1,1 kg/E*a	70 %		0,8 kg/E*a	90 %	0,9 kg/E*a	0,9 kg/E*a	2,5 %
	StNVP	0,6 kg/E*a	80 %		0,5 kg/E*a	90 %	0,5 kg/E*a	0,5 kg/E*a	1,5 %
Folien > A 4	VP	1,2 kg/E*a	70 %	25 %	0,9 kg/E*a	92 %	0,9 kg/E*a	0,9 kg/E*a	2,7 %
	StNVP	1,5 kg/E*a	70 %	25 %	1,0 kg/E*a	92 %	1,1 kg/E*a	1,1 kg/E*a	3,2 %
Standardverpackungspolymere	VP	6,2 kg/E*a	50 %	45 %	3,1 kg/E*a	94 %	3,3 kg/E*a	3,0 kg/E*a	8,5 %
	StNVP	1,2 kg/E*a	75 %	22 %	0,9 kg/E*a	94 %	0,9 kg/E*a	0,8 kg/E*a	2,4 %
sonst. Kunststoffe	VP	4,3 kg/E*a	85 %		6,7 kg/E*a	90 %	7,4 kg/E*a	7,8 kg/E*a	22,4 %
	StNVP	2,5 kg/E*a	70 %		2,4 kg/E*a	90 %	2,7 kg/E*a	2,8 kg/E*a	7,9 %
FKN	VP	2,2 kg/E*a	80 %		1,7 kg/E*a	90 %	1,9 kg/E*a	1,9 kg/E*a	5,5 %
PPK	NStNVP	2,1 kg/E*a	50 %		1,0 kg/E*a	90 %	1,1 kg/E*a	1,1 kg/E*a	3,3 %
Rest		7,1 kg/E*a					8,9 kg/E*a	8,9 kg/E*a	25,6 %
Summe		**34,7 kg/E*a**					**34,7 kg/E*a**	**34,7 kg/E*a**	**100,0 %**

Modell 2: VP + StNVP + Elektrokleingeräte

Stoffgruppe		Input-zusammen-setzung Wertstoff-tonne	Aus-bringen	Aus-bringen in Weiß-blech-(EKG) bzw. MKS-Fraktion	Output-menge bezogen auf Stoffgruppe	Reinheit im Produkt	Output-menge Sortier-anlage bei 100 % Kunststoff-arten-sortierung	Output-menge Sortier-anlage bei 90 % Kunststoff-arten-sortierung	Output-bilanz
		1	2	3	4	5	6	7	7
Weißblech	VP	3,5 kg/E*a	95 %		3,4 kg/E*a	93 %	3,6 kg/E*a	3,6 kg/E*a	10,1 %
	StNVP	1,3 kg/E*a	95 %		1,4 kg/E*a	93 %	1,5 kg/E*a	1,5 kg/E*a	4,2 %
Aluminium	VP	1,1 kg/E*a	70 %		0,8 kg/E*a	90 %	0,9 kg/E*a	0,9 kg/E*a	2,5 %
	StNVP	0,6 kg/E*a	80 %		0,5 kg/E*a	90 %	0,5 kg/E*a	0,5 kg/E*a	1,5 %
Folien > A 4	VP	1,2 kg/E*a	70 %	25 %	0,9 kg/E*a	92 %	0,9 kg/E*a	0,9 kg/E*a	2,6 %
	StNVP	1,5 kg/E*a	70 %	25 %	1,0 kg/E*a	92 %	1,1 kg/E*a	1,1 kg/E*a	3,1 %
Standardverpackungspolymere	VP	6,2 kg/E*a	50 %	45 %	3,1 kg/E*a	94 %	3,3 kg/E*a	3,0 kg/E*a	8,3 %
	StNVP	1,2 kg/E*a	75 %	22 %	0,9 kg/E*a	94 %	0,9 kg/E*a	0,8 kg/E*a	2,3 %
sonst. Kunststoffe	VP	4,3 kg/E*a	85 %		6,7 kg/E*a	90 %	7,4 kg/E*a	7,8 kg/E*a	21,7 %
	StNVP	2,5 kg/E*a	70 %		2,4 kg/E*a	90 %	2,7 kg/E*a	2,8 kg/E*a	7,7 %
FKN	VP	2,2 kg/E*a	80 %		1,7 kg/E*a	90 %	1,9 kg/E*a	1,9 kg/E*a	5,3 %
PPK	NStNVP	2,1 kg/E*a	50 %		1,0 kg/E*a	90 %	1,1 kg/E*a	1,1 kg/E*a	3,2 %
Elektrokleingeräte	NStNVP	1,2 kg/E*a	80 %	10 %	1,0 kg/E*a	95 %	1,0 kg/E*a	1,0 kg/E*a	2,9 %
Rest		7,0 kg/E*a					8,9 kg/E*a	8,9 kg/E*a	24,8 %
Summe		**35,9 kg/E*a**					**35,9 kg/E*a**	**35,9 kg/E*a**	**100,0 %**

Anlage 4: Beispielhafte Berechnungen der Erfassungskostenänderung (Restmüll und Wertstoffe) bei Umstellung auf M1

	Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3	Beispiel 4	Beispiel 5	Beispiel 6	Beispiel 7
Gebietscluster	Städtisches Gebiet	Städtisches Gebiet	Flächenkreis	Flächenkreis	Flächenkreis	Städtisches Gebiet	ländliche Struktur
LVP-Erfassungssystem (Status quo)	Behälter-sammlung	Behälter-sammlung	Behälter-sammlung	Sack-sammlung	Wertstoffhöfe	Sack-sammlung	Sack-sammlung
Bevölkerungsdichte	ca. 1700 E/km²	ca. 2800 E/km²	ca. 400 E/km²	ca. 500 E/km²	ca. 500 E/km²	ca. 1000 E/km²	ca. 200 E/km²
spez. Restmüllaufkommen	167,1 kg/E x a	242,2 kg/E x a	138,8 kg/E x a	182,3 kg/E x a	168,6 kg/E x a	274,2 kg/E x a	147,0 kg/E x a
spez. LVP-Aufkommen	27,9 kg/E x a	23,7 kg/E x a	27,8 kg/E x a	25,0 kg/E x a	9,5 kg/E x a	30,1 kg/E x a	24,6 kg/E x a

Status Quo

Restmüll							
spezifische Sammelkosten	10,2 €/(Exa)	11,9 €/(Exa)	8,7 €/(Exa)	11,4 €/(Exa)	10,5 €/(Exa)	14,8 €/(Exa)	10,9 €/(Exa)
spezifische Transportkosten	3,2 €/(Exa)	5,0 €/(Exa)	8,9 €/(Exa)	3,0 €/(Exa)	2,7 €/(Exa)	4,6 €/(Exa)	4,1 €/(Exa)
spezifische Behälterkosten	1,4 €/(Exa)	1,6 €/(Exa)	1,5 €/(Exa)	1,9 €/(Exa)	1,8 €/(Exa)	2,3 €/(Exa)	1,4 €/(Exa)
Summe	**14,7 €/(Exa)**	**18,5 €/(Exa)**	**19,0 €/(Exa)**	**16,2 €/(Exa)**	**15,0 €/(Exa)**	**21,8 €/(Exa)**	**16,4 €/(Exa)**
spezifische Kosten Restmüllerfassung	**88,2 €/t**	**76,2 €/t**	**136,8 €/t**	**89,1 €/t**	**89,1 €/t**	**79,5 €/t**	**111,2 €/t**
LVP							
spezifische Sammelkosten	2,6 €/(Exa)	1,7 €/(Exa)	2,9 €/(Exa)	2,6 €/(Exa)	0,6 €/(Exa)	2,5 €/(Exa)	3,0 €/(Exa)
spezifische Transportkosten	0,8 €/(Exa)	0,7 €/(Exa)	0,8 €/(Exa)	0,7 €/(Exa)	0,0 €/(Exa)	0,9 €/(Exa)	1,1 €/(Exa)
spezifische Behälterkosten	0,5 €/(Exa)	0,5 €/(Exa)	0,5 €/(Exa)	0,5 €/(Exa)	0,1 €/(Exa)	0,6 €/(Exa)	0,5 €/(Exa)
Summe	**3,9 €/(Exa)**	**2,8 €/(Exa)**	**4,2 €/(Exa)**	**3,8 €/(Exa)**	**0,7 €/(Exa)**	**4,0 €/(Exa)**	**4,5 €/(Exa)**
spezifische Kosten LVP-Erfassung	**139,8 €/t**	**119,4 €/t**	**150,9 €/t**	**150,9 €/t**	**75,8 €/t**	**131,9 €/t**	**185,0 €/t**

Änderungen nach Systemumstellung, Modell 1

Zunahme Wertstoffmenge	7 kg/E x a	7 kg/E x a	7 kg/E x a	10 kg/E x a	20,5 kg/E x a	10 kg/E x a	10 kg/E x a
Berechnung Minderkosten Restmüllerfassung							
Änderung spez. Restmüllmenge	-4,2 %	-2,9 %	-5,0 %	-5,5 %	-12,2 %	-3,6 %	-6,8 %
Änderung spez. Restmüllvolumen	-7,2 %	-5,0 %	-7,2 %	-7,8 %	-17,4 %	-6,3 %	-12,1 %
Dämpfungsfaktor Behälteranpassung	61,9 %	62,5 %	71,3 %	71,3 %	71,3 %	71,7 %	84,6 %
Änderung Sammelkosten	-0,28 €/(Exa)	-0,22 €/(Exa)	-0,18 €/(Exa)	-0,26 €/(Exa)	-0,52 €/(Exa)	-0,26 €/(Exa)	-0,20 €/(Exa)
Änderung Transportkosten	-0,23 €/(Exa)	-0,25 €/(Exa)	-0,64 €/(Exa)	-0,23 €/(Exa)	-0,48 €/(Exa)	-0,29 €/(Exa)	-0,50 €/(Exa)
Änderung Behälterkosten	-0,04 €/(Exa)	-0,03 €/(Exa)	-0,03 €/(Exa)	-0,04 €/(Exa)	-0,09 €/(Exa)	-0,04 €/(Exa)	-0,03 €/(Exa)
spez. Kosteneinsparung	**-0,54 €/(Exa)**	**-0,50 €/(Exa)**	**-0,85 €/(Exa)**	**-0,53 €/(Exa)**	**-1,09 €/(Exa)**	**-0,59 €/(Exa)**	**-0,73 €/(Exa)**
Berechnung Mehrkosten LVP-Erfassung							
Änderung spez. LVP-Menge	25,1 %	29,6 %	25,2 %	40,0 %	214,9 %	33,3 %	40,7 %
Änderung spez. LVP-Volumen	20,9 %	24,6 %	21,0 %	33,3 %	179,1 %	27,7 %	33,9 %
Dämpfungsfaktor Behälteranpassung	20,0 %	20,0 %	20,0 %	20,0 %	0,0 %	20,0 %	20,0 %
Änderung Sammelkosten	0,32 €/(Exa)	0,25 €/(Exa)	0,36 €/(Exa)	0,53 €/(Exa)	2,23 €/(Exa)	0,43 €/(Exa)	0,63 €/(Exa)
Änderung Transportkosten	0,20 €/(Exa)	0,20 €/(Exa)	0,20 €/(Exa)	0,29 €/(Exa)	0,71 €/(Exa)	0,29 €/(Exa)	0,44 €/(Exa)
Änderung Behälterkosten	0,07 €/(Exa)	0,07 €/(Exa)	0,07 €/(Exa)	0,10 €/(Exa)	0,40 €/(Exa)	0,10 €/(Exa)	0,10 €/(Exa)
spez. Mehrkosten	**0,59 €/(Exa)**	**0,52 €/(Exa)**	**0,63 €/(Exa)**	**0,91 €/(Exa)**	**3,35 €/(Exa)**	**0,81 €/(Exa)**	**1,16 €/(Exa)**
Differenzkosten nach Umstellung	**0,05 €/(Exa)**	**0,03 €/(Exa)**	**-0,22 €/(Exa)**	**0,38 €/(Exa)**	**2,26 €/(Exa)**	**0,22 €/(Exa)**	**0,44 €/(Exa)**

Anlage 5: Beispielhafte Berechnungen der Erfassungskostenänderung (Restmüll und Wertstoffe) bei Umstellung auf M2

	Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3	Beispiel 4	Beispiel 5	Beispiel 6	Beispiel 7
Gebietscluster	Städtisches Gebiet	Städtisches Gebiet	Flächenkreis	Flächenkreis	Flächenkreis	Städtisches Gebiet	ländliche Struktur
LVP-Erfassungssystem (Status quo)	Behälter-sammlung	Behälter-sammlung	Behälter-sammlung	Sack-sammlung	Wertstoffhöfe	Sack-sammlung	Sack-sammlung
Bevölkerungsdichte	ca. 1700 E/km²	ca. 2800 E/km²	ca. 400 E/km²	ca. 500 E/km²	ca. 500 E/km²	ca. 1000 E/km²	ca. 200 E/km²
spez. Restmüllaufkommen	167,1 kg/E x a	242,2 kg/E x a	138,8 kg/E x a	182,3 kg/E x a	168,6 kg/E x a	274,2 kg/E x a	147,0 kg/E x a
spez. LVP-Aufkommen	27,9 kg/E x a	23,7 kg/E x a	27,8 kg/E x a	25,0 kg/E x a	9,5 kg/E x a	30,1 kg/E x a	24,6 kg/E x a

Status Quo

Restmüll							
spezifische Sammelkosten	10,2 €/(Exa)	11,9 €/(Exa)	8,7 €/(Exa)	11,4 €/(Exa)	10,5 €/(Exa)	14,8 €/(Exa)	10,9 €/(Exa)
spezifische Transportkosten	3,2 €/(Exa)	5,0 €/(Exa)	8,9 €/(Exa)	3,0 €/(Exa)	2,7 €/(Exa)	4,6 €/(Exa)	4,1 €/(Exa)
spezifische Behälterkosten	1,4 €/(Exa)	1,6 €/(Exa)	1,5 €/(Exa)	1,9 €/(Exa)	1,8 €/(Exa)	2,3 €/(Exa)	1,4 €/(Exa)
Summe	**14,7 €/(Exa)**	**18,5 €/(Exa)**	**19,0 €/(Exa)**	**16,2 €/(Exa)**	**15,0 €/(Exa)**	**21,8 €/(Exa)**	**16,4 €/(Exa)**
spezifische Kosten Restmüllerfassung	**88,2 €/t**	**76,2 €/t**	**136,8 €/t**	**89,1 €/t**	**89,1 €/t**	**79,5 €/t**	**111,2 €/t**
LVP							
spezifische Sammelkosten	2,6 €/(Exa)	1,7 €/(Exa)	2,9 €/(Exa)	2,6 €/(Exa)	0,6 €/(Exa)	2,5 €/(Exa)	3,0 €/(Exa)
spezifische Transportkosten	0,8 €/(Exa)	0,7 €/(Exa)	0,8 €/(Exa)	0,7 €/(Exa)	0,0 €/(Exa)	0,9 €/(Exa)	1,1 €/(Exa)
spezifische Behälterkosten	0,5 €/(Exa)	0,5 €/(Exa)	0,5 €/(Exa)	0,5 €/(Exa)	0,1 €/(Exa)	0,6 €/(Exa)	0,5 €/(Exa)
Summe	**3,9 €/(Exa)**	**2,8 €/(Exa)**	**4,2 €/(Exa)**	**3,8 €/(Exa)**	**0,7 €/(Exa)**	**4,0 €/(Exa)**	**4,5 €/(Exa)**
spezifische Kosten LVP-Erfassung	**139,8 €/t**	**119,4 €/t**	**150,9 €/t**	**150,9 €/t**	**75,8 €/t**	**131,9 €/t**	**185,0 €/t**

Änderungen nach Systemumstellung, Modell 2

Zunahme Wertstoffmenge	8,2 kg/E x a	8,2 kg/E x a	8,2 kg/E x a	11,2 kg/E x a	21,7 kg/E x a	11,2 kg/E x a	11,2 kg/E x a
Berechnung Minderkosten Restmüllerfassung							
Änderung spez. Restmüllmenge	-4,9 %	-3,4 %	-5,9 %	-6,1 %	-12,8 %	-4,1 %	-7,6 %
Änderung spez. Restmüllvolumen	-7,9 %	-5,4 %	-7,9 %	-8,2 %	-17,3 %	-6,6 %	-12,7 %
Dämpfungsfaktor Behälteranpassung	61,9 %	62,5 %	71,3 %	71,3 %	71,3 %	71,7 %	84,6 %
Änderung Sammelkosten	-0,30 €/(Exa)	-0,24 €/(Exa)	-0,20 €/(Exa)	-0,27 €/(Exa)	-0,52 €/(Exa)	-0,28 €/(Exa)	-0,21 €/(Exa)
Änderung Transportkosten	-0,25 €/(Exa)	-0,27 €/(Exa)	-0,70 €/(Exa)	-0,24 €/(Exa)	-0,47 €/(Exa)	-0,30 €/(Exa)	-0,52 €/(Exa)
Änderung Behälterkosten	-0,04 €/(Exa)	-0,03 €/(Exa)	-0,03 €/(Exa)	-0,05 €/(Exa)	-0,09 €/(Exa)	-0,04 €/(Exa)	-0,03 €/(Exa)
spez. Kosteneinsparung	**-0,60 €/(Exa)**	**-0,54 €/(Exa)**	**-0,93 €/(Exa)**	**-0,56 €/(Exa)**	**-1,08 €/(Exa)**	**-0,62 €/(Exa)**	**-0,76 €/(Exa)**
Berechnung Mehrkosten LVP-Erfassung							
Änderung spez. LVP-Menge	29,3 %	34,4 %	29,3 %	44,6 %	226,9 %	37,1 %	45,4 %
Änderung spez. LVP-Volumen	24,4 %	28,7 %	24,4 %	37,1 %	189,1 %	30,9 %	37,8 %
Dämpfungsfaktor Behälteranpassung	20,0 %	20,0 %	20,0 %	20,0 %	0,0 %	20,0 %	20,0 %
Änderung Sammelkosten	0,34 €/(Exa)	0,27 €/(Exa)	0,38 €/(Exa)	0,55 €/(Exa)	2,26 €/(Exa)	0,44 €/(Exa)	0,65 €/(Exa)
Änderung Transportkosten	0,23 €/(Exa)	0,23 €/(Exa)	0,23 €/(Exa)	0,32 €/(Exa)	0,71 €/(Exa)	0,32 €/(Exa)	0,49 €/(Exa)
Änderung Behälterkosten	0,07 €/(Exa)	0,07 €/(Exa)	0,07 €/(Exa)	0,10 €/(Exa)	0,41 €/(Exa)	0,10 €/(Exa)	0,10 €/(Exa)
spez. Mehrkosten	**0,64 €/(Exa)**	**0,57 €/(Exa)**	**0,68 €/(Exa)**	**0,97 €/(Exa)**	**3,38 €/(Exa)**	**0,86 €/(Exa)**	**1,24 €/(Exa)**
Differenzkosten nach Umstellung	**0,04 €/(Exa)**	**0,03 €/(Exa)**	**-0,25 €/(Exa)**	**0,41 €/(Exa)**	**2,30 €/(Exa)**	**0,24 €/(Exa)**	**0,48 €/(Exa)**

Anlage 6: Modellhafte Betriebskostenschätzung Kapazität 40.000 t/a, ohne Elektrokleingeräte; standortunabhängige Planung

Betriebskostenschätzung
Kapazität 40.000 t/a, ohne Elektrokleingeräte
Standortunabhängige Planung

INVEST

Maschinentechnik		Gesamtinvest
Maschinen, Fördertechnik, Elektrotechnik		7.000.000 €
Bautechnik		
Summe Gebäude, sonst. bauliche Einrichtungen		3.300.000 €
Fahrzeuge		
1 Radlader, 2 Stapler		260.000 €
Projektnebenkosten		
Planung, Gutachten, Gebühren	5 % bezogen auf Invest für Maschinen- und Bautechnik	515.000 €

Rahmendaten	**Jahresdurchsatz**	**Betriebszeit**	**Verfügbarkeit**	**Laufzeit**
	36.000 t/a	**6000 h**	**87,5%**	**4725 h**

BETRIEBSKOSTEN

Annuitäten	Invest	Zeitraum	Zinssatz	Kosten	
Bauteil	3.300.000 €	25 a	5,5%	246.000 €/a	
Maschinenteil	7.000.000 €	8 a	5,5%	1.105.000 €/a	
Fahrzeuge	260.000 €	4 a	5,5%	74.000 €/a	
Projektnebenkosten	515.000 €	8 a	5,5%	81.000 €/a	1.506.000 €/a

Sonstige Verwaltungskosten	Anzahl	Bezugsumme	Zinssatz	Kosten	
Versicherung Maschinenteil		7.000.000 €	1,0% p.a.	70.000 €/a	
Versicherung Bauteil		3.300.000 €	0,5% p.a.	16.500 €/a	
pauschal sonst. Overheadkosten ohne Gewinn				45.000 €/a	131.500 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Fix					**1.637.500 €/a**

Kosten für Reparaturen/Instandhaltung		Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Instandhaltung Bauteil		3.300.000 €	1,0% p.a.	33.000 €/a	
Instandhaltung Maschinenteil		7.000.000 €	3,0% p.a.	210.000 €/a	
Instandhaltung Fahrzeuge		260.000 €	8,0% p.a.	21.000 €/a	264.000 €/a
Betriebsmittel	Bezug		spezifische Kosten	Kosten	
Kraftstoffe	Verbrauch	36855 l/a	1,20 €/l	44.000 €/a	
Schmierstoffe	pauschal			10.000 €/a	
Kosten für Zerkleinerung	Durchsatz	3.600 t/a	1,50 €/t	5.000 €/a	
elektrische Energie	Anschlussleistung	1000 kW	0,112 €/kWh	344.000 €/a	
thermische Energie	Anschlussleistung			entfällt	
Wasser	Verbrauch			entfällt	403.000 €/a

Personalkosten	Anzahl	Anzahl je Schicht	spezifische Kosten	Kosten	
Betriebsleiter	1		54.000 €/a	54.000 €/a	
Verwaltung / Waage	2		24.000 €/a	48.000 €/a	
Sekretariat	2		26.000 €/a	52.000 €/a	
Schichtleiter		1	17 €/h	102.000 €/a	
Maschinist / Fahrer		4	17 €/h	408.000 €/a	
Sortierer/Hilfskraft		7	15 €/h	630.000 €/a	1.294.000 €/a

Sonstige Betriebskosten	Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Sonstige nicht näher spezifizierte Kosten	1.961.000 €/a	2,5% p.a.	49.000 €/a	49.000 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Variabel				**2.010.000 €/a**

SUMME KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**3.647.500 €/a**
SPEZIFISCHE KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**101,3 €/t**

Anlage 7: Modellhafte Betriebskostenschätzung Kapazität 60.000 t/a, ohne Elektrokleingeräte; standortunabhängige Planung

Betriebskostenschätzung
Kapazität 60.000 t/a, ohne Elektrokleingeräte
Standortunabhängige Planung

INVEST

		Gesamtinvest
Maschinentechnik		
Maschinen, Fördertechnik, Elektrotechnik		10.500.000 €
Bautechnik		
Summe Gebäude, sonst. bauliche Einrichtungen		4.950.000 €
Fahrzeuge		
1 Radlader, 2 Stapler		260.000 €
Projektnebenkosten		
Planung, Gutachten, Gebühren	5 % bezogen auf Invest für Maschinen- und Bautechnik	773.000 €

Rahmendaten	**Jahresdurchsatz**	**Betriebszeit**	**Verfügbarkeit**	**Laufzeit**
	54.000 t/a	**6000 h**	**87,5%**	**4725 h**

BETRIEBSKOSTEN

Annuitäten	Invest	Zeitraum	Zinssatz	Kosten	
Bauteil	4.950.000 €	25 a	5,5%	369.000 €/a	
Maschinenteil	10.500.000 €	8 a	5,5%	1.658.000 €/a	
Fahrzeuge	260.000 €	4 a	5,5%	74.000 €/a	
Projektnebenkosten	773.000 €	8 a	5,5%	122.000 €/a	2.223.000 €/a

Sonstige Verwaltungskosten	Anzahl	Bezugsumme	Zinssatz	Kosten	
Versicherung Maschinenteil		10.500.000 €	1,0% p.a.	105.000 €/a	
Versicherung Bauteil		4.950.000 €	0,5% p.a.	24.750 €/a	
pauschal sonst. Overheadkosten ohne Gewinn				50.000 €/a	179.750 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Fix					**2.402.750 €/a**

Kosten für Reparaturen/Instandhaltung		Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Instandhaltung Bauteil		4.950.000 €	1,0% p.a.	50.000 €/a	
Instandhaltung Maschinenteil		10.500.000 €	3,0% p.a.	315.000 €/a	
Instandhaltung Fahrzeuge		260.000 €	8,0% p.a.	21.000 €/a	386.000 €/a
Betriebsmittel	Bezug		spezifische Kosten	Kosten	
Kraftstoffe	Verbrauch	55282,5 l/a	1,20 €/l	66.000 €/a	
Schmierstoffe	pauschal			10.000 €/a	
Kosten für Zerkleinerung	Durchsatz	5.400 t/a	1,50 €/t	8.000 €/a	
elektrische Energie	Anschlussleistung	1300 kW	0,112 €/kWh	447.000 €/a	
thermische Energie	Anschlussleistung			entfällt	
Wasser	Verbrauch			entfällt	531.000 €/a

Personalkosten	Anzahl	Anzahl je Schicht	spezifische Kosten	Kosten	
Betriebsleiter	1		54.000 €/a	54.000 €/a	
Verwaltung / Waage	2		24.000 €/a	48.000 €/a	
Sekretariat	3		26.000 €/a	78.000 €/a	
Schichtleiter		1	17 €/h	102.000 €/a	
Maschinist / Fahrer		4	17 €/h	408.000 €/a	
Sortierer/Hilfskraft		7	15 €/h	630.000 €/a	1.320.000 €/a

Sonstige Betriebskosten	Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Sonstige nicht näher spezifizierte Kosten	2.237.000 €/a	2,5% p.a.	56.000 €/a	56.000 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Variabel				**2.293.000 €/a**

SUMME KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**4.695.750 €/a**
SPEZIFISCHE KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**87,0 €/t**

Anlage 8: Modellhafte Betriebskostenschätzung Kapazität 40.000 t/a, mit Elektrokleingeräte; standortunabhängige Planung

Betriebskostenschätzung
Kapazität 40.000 t/a, mit Elektrokleingeräten
Standortunabhängige Planung

INVEST

Maschinentechnik			Gesamtinvest
Maschinen, Fördertechnik, Elektrotechnik			7.345.000 €
Bautechnik			
Summe Gebäude, sonst. bauliche Einrichtungen			3.300.000 €
Fahrzeuge			
1 Radlader, 2 Stapler			260.000 €
Projektnebenkosten			
Planung, Gutachten, Gebühren		5 % bezogen auf Invest für Maschinen- und Bautechnik	532.000 €

Rahmendaten	**Jahresdurchsatz**	**Betriebszeit**	**Verfügbarkeit**	**Laufzeit**
	36.000 t/a	**6000 h**	**87,5%**	**4725 h**

BETRIEBSKOSTEN

Annuitäten	Invest	Zeitraum	Zinssatz	Kosten	
Bauteil	3.300.000 €	25 a	5,5%	246.000 €/a	
Maschinenteil	7.345.000 €	8 a	5,5%	1.160.000 €/a	
Fahrzeuge	260.000 €	4 a	5,5%	74.000 €/a	
Projektnebenkosten	532.000 €	8 a	5,5%	84.000 €/a	1.564.000 €/a

Sonstige Verwaltungskosten	Anzahl	Bezugsumme	Zinssatz	Kosten	
Versicherung Maschinenteil		7.345.000 €	1,0% p.a.	73.450 €/a	
Versicherung Bauteil		3.300.000 €	0,5% p.a.	16.500 €/a	
pauschal sonst. Overheadkosten ohne Gewinn				45.000 €/a	134.950 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Fix					**1.698.950 €/a**

Kosten für Reparaturen/Instandhaltung		Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Instandhaltung Bauteil		3.300.000 €	1,0% p.a.	33.000 €/a	
Instandhaltung Maschinenteil		7.345.000 €	3,0% p.a.	220.000 €/a	
Instandhaltung Fahrzeuge		260.000 €	8,0% p.a.	21.000 €/a	274.000 €/a
Betriebsmittel	Bezug		spezifische Kosten	Kosten	
Kraftstoffe	Verbrauch	36855 l/a	1,20 €/l	44.000 €/a	
Schmierstoffe	pauschal			10.000 €/a	
Kosten für Zerkleinerung	Durchsatz	3.600 t/a	1,50 €/t	5.000 €/a	
elektrische Energie	Anschlussleistung	1035 kW	0,112 €/kWh	356.000 €/a	
thermische Energie	Anschlussleistung			entfällt	
Wasser	Verbrauch			entfällt	415.000 €/a

Personalkosten	Anzahl	Anzahl je Schicht	spezifische Kosten	Kosten	
Betriebsleiter	1		54.000 €/a	54.000 €/a	
Verwaltung / Waage	2		24.000 €/a	48.000 €/a	
Sekretariat	2		26.000 €/a	52.000 €/a	
Schichtleiter		1	17 €/h	102.000 €/a	
Maschinist / Fahrer		4	17 €/h	408.000 €/a	
Sortierer/Hilfskraft		8	15 €/h	720.000 €/a	1.384.000 €/a

Sonstige Betriebskosten	Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Sonstige nicht näher spezifizierte Kosten	2.073.000 €/a	2,5% p.a.	52.000 €/a	52.000 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Variabel				**2.125.000 €/a**

SUMME KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**3.823.950 €/a**
SPEZIFISCHE KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**106,2 €/t**

Anlage 9: Modellhafte Betriebskostenschätzung Kapazität 60.000 t/a, mit Elektrokleingeräte; standortunabhängige Planung

Betriebskostenschätzung
Kapazität 60.000 t/a, mit Elektrokleingeräten
Standortunabhängige Planung

INVEST

Maschinentechnik		Gesamtinvest
Maschinen, Fördertechnik, Elektrotechnik		10.870.000 €
Bautechnik		
Summe Gebäude, sonst. bauliche Einrichtungen		4.950.000 €
Fahrzeuge		
1 Radlader, 2 Stapler		260.000 €
Projektnebenkosten		
Planung, Gutachten, Gebühren	5 % bezogen auf Invest für Maschinen- und Bautechnik	791.000 €

Rahmendaten	**Jahresdurchsatz**	**Betriebszeit**	**Verfügbarkeit**	**Laufzeit**
	54.000 t/a	**6000 h**	**87,5%**	**4725 h**

BETRIEBSKOSTEN

Annuitäten	Invest	Zeitraum	Zinssatz	Kosten	
Bauteil	4.950.000 €	25 a	5,5%	369.000 €/a	
Maschinenteil	10.870.000 €	8 a	5,5%	1.716.000 €/a	
Fahrzeuge	260.000 €	4 a	5,5%	74.000 €/a	
Projektnebenkosten	791.000 €	8 a	5,5%	125.000 €/a	2.284.000 €/a

Sonstige Verwaltungskosten	Anzahl	Bezugsumme	Zinssatz	Kosten	
Versicherung Maschinenteil		10.870.000 €	1,0% p.a.	108.700 €/a	
Versicherung Bauteil		4.950.000 €	0,5% p.a.	24.750 €/a	
pauschal sonst. Overheadkosten ohne Gewinn				50.000 €/a	183.450 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Fix					**2.467.450 €/a**

Kosten für Reparaturen/Instandhaltung		Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Instandhaltung Bauteil		4.950.000 €	1,0% p.a.	50.000 €/a	
Instandhaltung Maschinenteil		10.870.000 €	3,0% p.a.	326.000 €/a	
Instandhaltung Fahrzeuge		260.000 €	8,0% p.a.	21.000 €/a	397.000 €/a

Betriebsmittel	Bezug		spezifische Kosten	Kosten	
Kraftstoffe	Verbrauch	55282,5 l/a	1,20 €/l	66.000 €/a	
Schmierstoffe	pauschal			10.000 €/a	
Kosten für Zerkleinerung	Durchsatz	5.400 t/a	1,50 €/t	8.000 €/a	
elektrische Energie	Anschlussleistung	1342 kW	0,112 €/kWh	462.000 €/a	
thermische Energie	Anschlussleistung			entfällt	
Wasser	Verbrauch			entfällt	546.000 €/a

Personalkosten	Anzahl	Anzahl je Schicht	spezifische Kosten	Kosten	
Betriebsleiter	1		54.000 €/a	54.000 €/a	
Verwaltung / Waage	2		24.000 €/a	48.000 €/a	
Sekretariat	3		26.000 €/a	78.000 €/a	
Schichtleiter		1	17 €/h	102.000 €/a	
Maschinist / Fahrer		4	17 €/h	408.000 €/a	
Sortierer/Hilfskraft		8	15 €/h	720.000 €/a	1.410.000 €/a

Sonstige Betriebskosten	Bezugsumme	Prozentsatz	Kosten	
Sonstige nicht näher spezifizierte Kosten	2.353.000 €/a	2,5% p.a.	59.000 €/a	59.000 €/a
Zwischensumme Betriebskosten Variabel				**2.412.000 €/a**

SUMME KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**4.879.450 €/a**
SPEZIFISCHE KOSTEN OHNE VERWERTUNGSERLÖSE UND ENTSORGUNGSKOSTEN	**90,4 €/t**

Anlage 10: Ermittlung der Verwertungserlöse/-zuzahlungen für die Outputströme der Sortierung für M1 (oben) und M2 (unten)

Outputfraktion Sortierung	spezifische Output-mengen Sortier-anlage Null-Szenario	spez. Erlöse bzw. Zuzahlung	spezifischer Gesamterlös aus sortierten Output-fraktionen Null-Szenario	spezifische Output-mengen Sortier-anlage Wertstoff-Szenario 1	spez. Erlöse bzw. Zuzahlung	spezifischer Gesamterlös aus sortierten Output-fraktionen Wertstoff-Szenario 1
	1	2	3	4	5	6
Weißblech	3,2 kg/E*a	100 €/t	0,32 €/E*a	5,0 kg/E*a	100 €/t	0,50 €/E*a
Aluminium	0,8 kg/E*a	30 €/t	0,02 €/E*a	1,4 kg/E*a	158 €/t	0,22 €/E*a
Folien > A 4	1,5 kg/E*a	30 €/t	0,05 €/E*a	2,0 kg/E*a	30 €/t	0,06 €/E*a
Kunststoffarten	1,6 kg/E*a	150 €/t	0,24 €/E*a	3,8 kg/E*a	150 €/t	0,57 €/E*a
Mischkunststoffe	9,1 kg/E*a	-50 €/t	-0,46 €/E*a	10,5 kg/E*a	-50 €/t	-0,53 €/E*a
FKN	1,7 kg/E*a	0 €/t	0,00 €/E*a	1,9 kg/E*a	0 €/t	0,00 €/E*a
PPK	0,9 kg/E*a	0 €/t	0,00 €/E*a	1,1 kg/E*a	0 €/t	0,00 €/E*a
Rest	8,9 kg/E*a	-70 €/t	-0,62 €/E*a	8,9 kg/E*a	-70 €/t	-0,62 €/E*a
Summe	**27,7 kg/E*a**		**-0,45 €/E*a**	**34,7 kg/E*a**		**0,20 €/E*a**

Outputfraktion Sortierung	spezifische Output-mengen Sortier-anlage Null-Szenario	spez. Erlöse bzw. Zuzahlung	spezifischer Gesamterlös aus sortierten Output-fraktionen Null-Szenario	spezifische Output-mengen Sortier-anlage Wertstoff-Szenario 2	spez. Erlöse bzw. Zuzahlung	spezifischer Gesamterlös aus sortierten Output-fraktionen Wertstoff-Szenario 2
	1	2	3	4	5	6
Weißblech	3,2 kg/E*a	100 €/t	0,32 €/E*a	5,1 kg/E*a	100 €/t	0,51 €/E*a
Aluminium	0,8 kg/E*a	30 €/t	0,02 €/E*a	1,4 kg/E*a	158 €/t	0,22 €/E*a
Folien > A 4	1,5 kg/E*a	30 €/t	0,05 €/E*a	2,0 kg/E*a	30 €/t	0,06 €/E*a
Kunststoffarten	1,6 kg/E*a	150 €/t	0,24 €/E*a	3,8 kg/E*a	150 €/t	0,57 €/E*a
Mischkunststoffe	9,1 kg/E*a	-50 €/t	-0,46 €/E*a	10,5 kg/E*a	-50 €/t	-0,53 €/E*a
FKN	1,7 kg/E*a	0 €/t	0,00 €/E*a	1,9 kg/E*a	0 €/t	0,00 €/E*a
PPK	0,9 kg/E*a	0 €/t	0,00 €/E*a	1,1 kg/E*a	0 €/t	0,00 €/E*a
Elektrokleingeräte				1,0 kg/E*a	50 €/t	0,05 €/E*a
Rest	8,9 kg/E*a	-70 €/t	-0,62 €/E*a	8,9 kg/E*a	-70 €/t	-0,62 €/E*a
Summe	**27,7 kg/E*a**		**-0,45 €/E*a**	**35,9 kg/E*a**		**0,27 €/E*a**

Anlage 11: Ermittlung der spezifischen Heizwerte der Transfermengen für M1 und M2

Stoffgruppe		Zusatz-mengen gegenüber Status Modell 1	Zusatz-mengen gegenüber Status Modell 2	Kommentar	Heizwert Stoffgruppe	Anteil an Zusatzmenge Modell 1	Anteil an Zusatzmenge Modell 2	Heizwert-ermittlung Zusatzmenge Modell 1	Heizwert-ermittlung Zusatzmenge Modell 2
Weißblech	VP	0,5 kg/E*a	0,5 kg/E*a	100 % Metall	0 kJ/kg	6,7 %	5,8 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
	StNVP	1,0 kg/E*a	1,0 kg/E*a	100 % Metall	0 kJ/kg	14,5 %	12,4 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
Aluminium	VP	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a	100 % Metall	0 kJ/kg	2,0 %	1,7 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
	StNVP	0,3 kg/E*a	0,3 kg/E*a	100 % Metall	0 kJ/kg	3,7 %	3,1 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
Folien > A 4	VP	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a	100 % Kunststoff	31.000 kJ/kg	2,1 %	1,8 %	636 kJ/kg	546 kJ/kg
	StNVP	0,4 kg/E*a	0,4 kg/E*a	100 % Kunststoff	31.000 kJ/kg	5,9 %	5,0 %	1.822 kJ/kg	1.565 kJ/kg
Standardverpackungspolymere	VP	0,2 kg/E*a	0,2 kg/E*a	100 % Kunststoff	31.000 kJ/kg	2,8 %	2,4 %	863 kJ/kg	741 kJ/kg
	StNVP	0,5 kg/E*a	0,5 kg/E*a	100 % Kunststoff	31.000 kJ/kg	7,2 %	6,2 %	2.241 kJ/kg	1.925 kJ/kg
sonst. Kunststoffe	VP	0,4 kg/E*a	0,4 kg/E*a	100 % Kunststoff	31.000 kJ/kg	5,1 %	4,4 %	1.582 kJ/kg	1.359 kJ/kg
	StNVP	1,5 kg/E*a	1,5 kg/E*a	100 % Kunststoff	31.000 kJ/kg	21,3 %	18,3 %	6.599 kJ/kg	5.669 kJ/kg
FKN	VP	0,1 kg/E*a	0,1 kg/E*a	100 % sonstige Verbunde	17.500 kJ/kg	1,3 %	1,1 %	223 kJ/kg	191 kJ/kg
Holz	VP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a			0,0 %	0,0 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a			0,0 %	0,0 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
Textilien	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a			0,0 %	0,0 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
Elektrokleingeräte	NStNVP	0,0 kg/E*a	1,2 kg/E*a	70 % sonst. Kunststoff, 30 % Metall	21.700 kJ/kg	0,0 %	14,1 %	0 kJ/kg	3.059 kJ/kg
Batterien	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a			0,0 %	0,0 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
Gummi	NStNVP	0,0 kg/E*a	0,0 kg/E*a			0,0 %	0,0 %	0 kJ/kg	0 kJ/kg
PPK + Rest		1,9 kg/E*a	1,9 kg/E*a	50 % PPK, 50 % Restabfall	10.750 kJ/kg	27,5 %	23,6 %	2.959 kJ/kg	2.542 kJ/kg
Summe		**7,0 kg/E*a**	**8,2 kg/E*a**					16.925 kJ/kg	17.598 kJ/kg