

Universität für Bodenkultur
Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt
Institut für Abfallwirtschaft



Die Wertstofftonne im Vergleich zur getrennten Sammlung

Masterarbeit
Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

eingereicht von
PÖTTSCHACHER Stefanie
H 066 427 / 0728213

Wien, Jänner 2016

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mir bei der Erstellung meiner Diplomarbeit und auch während meines Studiums unterstützend zur Seite gestanden sind.

In erster Linie möchte ich mich bei meinem Betreuer Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Stefan Salhofer bedanken, der mich während des Verfassens meiner Diplomarbeit begleitet hat und auf dessen fachliche Expertise und konstruktive Kritik ich stets zählen konnte.

Besonderer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt haben.

Außerdem danke ich all meinen Freunden und besonders meinem Freund Markus, für die Unterstützung und Motivation während meines gesamten Studiums.

Kurzfassung

Begründet durch sich verändernde gesetzliche Rahmenbedingungen und die Priorisierung des Recyclings – der stofflichen Verwertung, vor anderen Verwertungswegen, stehen die gegenwärtigen Systeme der getrennten Abfallsammlung verstärkt zur Diskussion. Weitere Faktoren, wie Klimawandel, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit tragen ebenso dazu bei, dass alternative Sammelsysteme vermehrt in Pilotversuchen erprobt bzw. auch in den Regelbetrieb umgesetzt werden und so die bestehende getrennte Abfallsammlung teilweise ersetzen. Im Zuge der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, welche Modelle zur Wertstofftonne und zu alternativen Abfallsammelsystemen in Österreich und Deutschland erprobt bzw. umgesetzt wurden.

Hierfür wurden Modelle für die Wertstofftonne und für alternative Sammelsysteme in Österreich und Deutschland analysiert und anhand ihrer Sammelmengen und Erfassungsquoten verglichen. Zusätzlich wurden weitere Einflussfaktoren auf die Einführung alternativer Sammelsysteme, wie Sortiertechnologien und die stoffliche Verwertung dargestellt. Aufbauend auf diese Erkenntnisse und die gewonnenen Informationen aus dem Modellvergleich wurde ein Vergleich mit Regionen ohne Wertstofftonne durchgeführt.

Ergänzend zu dieser vergleichenden Darstellung wurden ExpertInneninterviews durchgeführt, um auch praxisnahe Inputs und Erfahrungen miteinfließen zu lassen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass in den ausgewählten Beispielregionen die Sammelmengen im Vergleich vor und nach Einführung der Wertstofftonne, je nach Region um 3,9-7,2 kg/E*a gesteigert werden konnten. In der Gegenüberstellung zu Referenzgebieten weisen die Regionen mit Wertstofftonne im Durchschnitt höhere Erfassungsquoten und Anteile der stofflichen Verwertung auf.

Schlagwörter: getrennte Abfallsammlung, Wertstofftonne, Recycling, stoffliche Verwertung, Verpackungsabfälle, Erfassungsquoten

Abstract

As a result of the changing legal framework and the prioritization of recycling, the current systems of waste collection are up for discussion. Additional factors, such as climate change, resource efficiency and sustainability also contribute to the investigation and testing of alternative systems of waste collection in pilot projects. Some of them already have been put into practice and replaced the existing separate collection of waste.

This thesis will investigate pilot projects and system approaches on alternative waste collection systems, such as a recycling bin, in Austria and Germany. Furthermore the recycling rates of those projects will be compared and based on that the overall potential of recycling should be determined.

For this purpose, selected examples for the implementation of a recycling bin in Austria and Germany have been analysed based on their collection quantities and collection rates. Furthermore other influencing factors such as sorting technologies and recycling have been considered. Based on these findings and the results of the model comparison the selected regions have been matched against regions without recycling bin.

In addition to this comparison, expert interviews have been conducted to gain an insight into the practical experience of project members.

The conclusion of this thesis is that for the selected regions the collection quantities compared before and after the implementation of a recycling bin could be increased by 3.9-7.2 kg per capita and year. The selected projects with recycling bin showed higher collection and recycling rates compared to regions without recycling bin.

Keywords: separate waste collection, recycling bin, recycling, packaging waste, collection rates

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit.....	1
1.2	Aufbau der Arbeit	2
2.	Definitionen	3
3.	Material und Methode	3
3.1	Systemabgrenzung	3
3.2	Datenbeschaffung	3
3.2.1	Literaturrecherche.....	4
3.2.2	ExpertInneninterviews	4
3.2.3	Betriebsbegehung.....	4
4.	Die getrennte Sammlung.....	5
4.1	Entwicklung der getrennten Sammlung in Österreich	5
4.2	Status Quo	5
4.3	Vergleich der Erfassungs- und Verwertungssysteme für Verpackungsabfälle in Österreich und Deutschland.....	7
5.	Ergebnisse	10
5.1	Die Wertstofftonne	10
5.2	Beispiele für die Umsetzung der Wertstofftonne	12
5.2.1	Neunkirchen.....	13
5.2.2	Leipzig	22
5.2.3	Berlin.....	25
5.2.4	Hamburg	32
5.2.5	Karlsruhe	37
5.3	Weitere Beispiele für innovative Sammelsysteme	41
5.3.1	Iserlohn	41
5.3.2	Kassel	47
5.4	Vergleich ausgewählter Modellversuche	51
5.4.1	Sammelmengen vor und nach Systemumstellung	53
5.4.2	Abfallpotential und Erfassungsquoten	55
5.5	Stoffliche Verwertung	59
5.5.1	Stoffliche Verwertung von Verpackungsabfällen	61
5.5.2	Verwertungsquoten der ausgewählten Projekte.....	63
5.6	Sortiertechnologie	64
5.6.1	Sieben.....	66
5.6.2	Sichten	66
5.6.3	Elektrosortierung.....	66
5.6.4	Wirbelstrom.....	66
5.6.5	Magnetabscheider	67
5.6.6	Sinkscheiden	69
5.6.7	Flotation.....	70
5.6.8	Prallsortieren.....	70
5.6.9	Sensorgestützte Sortierung	70
5.6.10	Anlagenbeispiele	72
5.6.10.1	OMRIN Technologie, Orgaworld Nederland BV	74
5.6.10.2	Sortieranlage Romerike, Norwegen.....	76

6.	Diskussion.....	77
6.1	Vergleich ausgewählter Modellversuche.....	77
6.1.1	Sammelmengen vor und nach Systemumstellung.....	78
6.1.2	Abfallpotential und Erfassungsquoten.....	78
6.2	Stoffliche Verwertung.....	82
6.3	Schlussfolgerung.....	84
7.	Abbildungsverzeichnis.....	85
8.	Tabellenverzeichnis.....	90
9.	Abkürzungsverzeichnis.....	93
10.	Literaturverzeichnis.....	95
11.	Anhang.....	105
11.1	Experteninterview – Dipl.-Ing. Jochen Ebbing.....	105
11.2	Experteninterview – Ing. Gerd Hettlinger.....	108

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

In Österreich und Deutschland werden verschiedene Wertstofffraktionen – LVP, PPK, Glas, Metalle – getrennt vom Hausmüll erfasst. Trotz dieser getrennten Sammlung verbleiben im Restmüll noch immer Wertstoffe, nach DEHOUST und EWEN (2011) handelt es sich dabei insbesondere um Verbunde, Fe-/NE-Metalle und Kunststoffe.

Aus diesem Grund wird nach SRU (2008) seit einigen Jahren das System der getrennten Sammlung verwertbarer Abfallfraktionen intensiv diskutiert. Im Fokus stehen hierbei vor allem die getrennte Erfassung von Verpackungsabfällen und die Frage nach der Aufrechterhaltung bzw. Zeitgemäßheit des bestehenden Systems.

Um die Wertstoffverluste aus dem Restmüll zu erfassen und einer hochwertigen stofflichen Verwertung zuführen zu können, gibt es in Österreich und Deutschland Modellversuche zur Einführung alternativer Sammelsysteme. Ein Beispiel dafür ist die so genannte Wertstofftonne. Bei diesem Systemansatz werden definierte Wertstoffe in den Haushalten in einer gemeinsamen Tonne erfasst, in einer nachgeschalteten Sortierung separiert und einer weiteren Verwertung zugeführt.

Nach BRENCK et al. (2009) sprechen die Möglichkeit zur Steigerung der Verwertungs- und Erfassungsquoten und die Forcierung des Recyclings für die Einführung einer Wertstofftonne. Weitere begünstigende Faktoren sind die ständige Weiterentwicklung der Sortiertechnologien, z.B. NIR-Systeme und die geringeren Kosten für Sammlung und Logistik im Vergleich zur getrennten Sammlung.

Auch in Bezug auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen rückt die stoffliche Verwertung vermehrt in den Vordergrund. Das im Dezember 2015 verabschiedete Maßnahmenpaket zur Kreislaufwirtschaft der EU misst Recycling und Wiederverwendung höchste Priorität zu. Dies beinhaltet, nach EUROPÄISCHE UNION (2015a), unter anderem Vorschläge für eine gemeinsame EU-Zielvorgabe von 65 % für das Recycling von Siedlungsabfällen und von 75 % für das Recycling von Verpackungsabfällen bis zum Jahr 2030.

Ebenso die fünf-stufige Abfallhierarchie reiht die stoffliche Verwertung nach der Abfallvermeidung und der Vorbereitung zur Wiederverwendung als hoch prioritär ein. Diese Prioritätenverschiebung lässt sich ebenfalls aus der Entwicklung der Behandlungs- und Verwertungswege von Abfällen aus Haushalten in Österreich ablesen, siehe Abb. 1. Hieraus ist ein klarer Rückgang der Ablagerung – Beseitigung von Abfällen und eine Steigerung der Verwertung zu erkennen. Summiert ergeben die Verwertung biogener Abfälle und die Verwertung von Altstoffen 48,1 Massen%, somit werden, mit Stand 2013, in Österreich rund die Hälfte aller in Haushalten anfallenden Abfälle einer Verwertung zugeführt.

Basierend auf der dargelegten Problemstellung ist das Ziel dieser Arbeit, anhand der vergleichenden Analyse ausgewählter Beispiele für die Umsetzung der Wertstofftonne, das Potential dieses Sammelsystems zu eruieren.

Folgende weiterführende Forschungsfragen sollen ebenfalls in der vorliegenden Arbeit Beantwortung finden:

- Welches Potential kann die stoffliche Verwertung erreichen?

- Welche Verwertungsquoten bzw. -gutschriften sind erreichbar?
- Welche Auswirkung hat die Einführung einer Wertstofftonne auf Sammelmengen und Erfassungsquoten?
- Übertragbarkeit, Anwendbarkeit des Systems

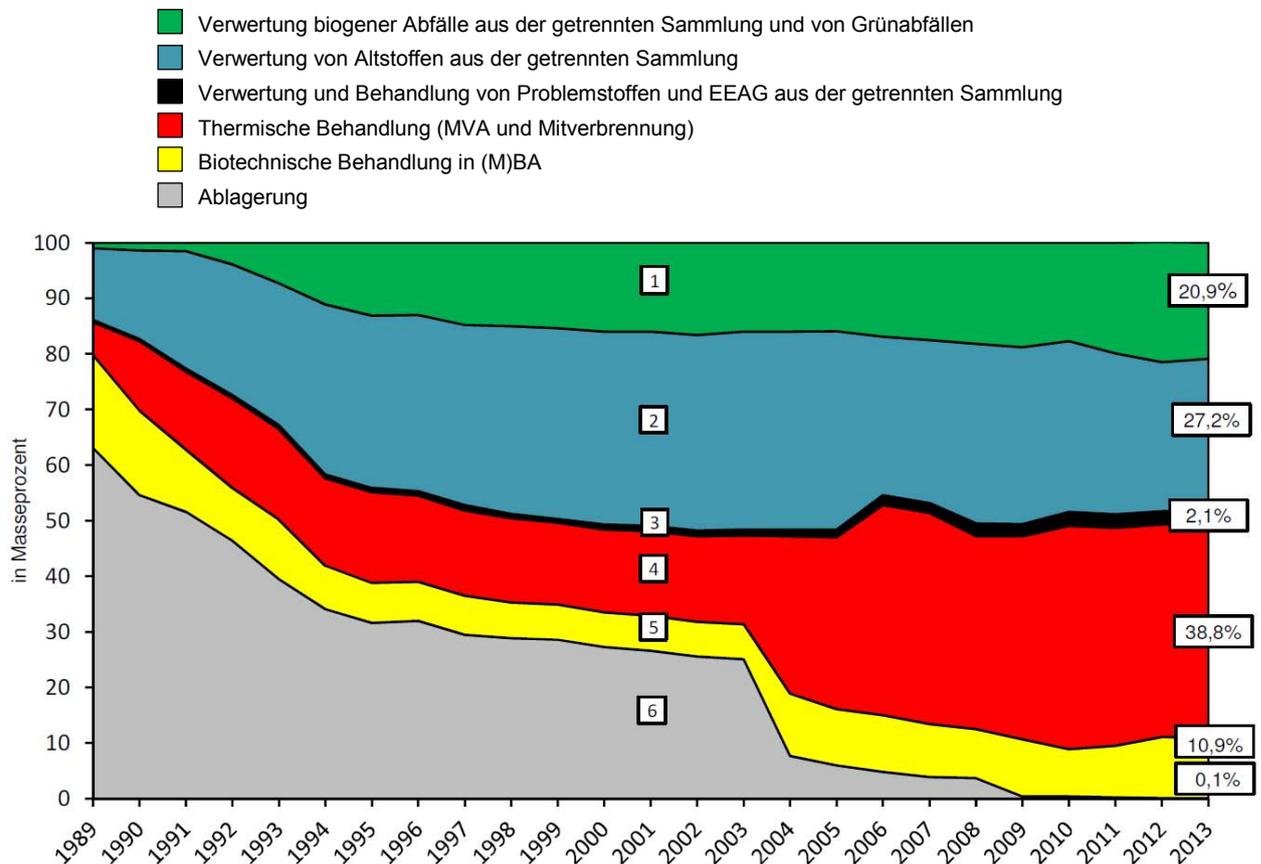


Abb. 1: Verwertung und Beseitigung von Siedlungsabfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen in Österreich [Masse%] 1989-2013 (BMLFUW, 2015)

1.2 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der vorliegenden Arbeit, anschließend an die einleitende Problemdarstellung und die Vorstellung der zugrundeliegenden Forschungsfragen, erfolgt die Definition verwendeter Begrifflichkeiten zum besseren Verständnis. Daran anschließend folgt die Darlegung der eingesetzten Materialien und Methoden. Der Hauptteil der gegenständlichen Arbeit befasst sich mit der getrennten Sammlung, sowie mit Beispielen für die Umsetzung alternativer Sammelsysteme und einer abschließenden Gegenüberstellung ausgewählter Beispiele. Ergänzend werden im Anschluss Grundlagen zu beeinflussenden Faktoren – Stoffliche Verwertung, Sortiertechnologie – erläutert. Im letzten Abschnitt sollen die gewonnenen Erkenntnisse der Arbeit diskutiert und schlussendlich zusammengefasst dargestellt werden.

2. Definitionen

Abfallpotential: Summe aus getrennt erfasstem Wertstoff und den Anteilen im Restmüll (KRANERT und CORD-LANDWEHR, 2010)

Erfassungsquote: Prozentueller Anteil des Abfallpotentials, welcher getrennt über ein Sammelsystem erfasst wird (KRANERT und CORD-LANDWEHR, 2010)

Nichtstoffgleiche Verpackungen: Verpackungen, die stofflich nicht entsprechen; z.B. Glasverpackung im Altpapier-Container (ARGE ABFALLVERMEIDUNG GMBH, 2005)

Sammelmenge: durch Verwiegung ermittelte (Brutto-)Masse getrennt erfasster Wertstoffe inkl. Fehlwürfe (DEHOUST und CHRISTIANI, 2012)

Sortierfraktionen: Endprodukte des Wertstoffsortierprozesses (DEHOUST und CHRISTIANI, 2012)

Sortierreste: Abfallstrom nicht exakt spezifischer Zusammensetzung, der nach technischer Aussortierung der Sortierfraktionen verbleibt (DEHOUST und CHRISTIANI, 2012)

Stoffgleiche Nichtverpackungen (StNVP): Abfall, der nicht als Verpackungsabfall gilt, diesem aber stofflich entspricht (ARGE ABFALLVERMEIDUNG GMBH, 2005)

Verwertungsquote: kumulierte Quote, welche die gesammelten Abfallmengen ins Verhältnis zu den stofflich verwerteten Mengen setzt (DEHOUST und CHRISTIANI, 2012; UVEK, 2013)

Wertstoffgehalt: auch Produktreinheit genannt, kennzeichnet wie hoch das Endprodukt (Massen-%) mit Wertstoff angereichert ist (KRANERT und CORD-LANDWEHR, 2010)

Wertstofftonne: einheitliche Tonne für die Sammlung von Verpackungsabfällen und Stoffen aus gleichen Materialien (OBERMEIER, 2010)

3. Material und Methode

Im nachfolgenden Abschnitt erfolgt neben der Systemabgrenzung, zur Auswahl der betrachteten Pilotprojekte, ein Überblick zu den verwendeten Materialien. Weiters werden die angewandten Methoden zur Beantwortung der gestellten Forschungsfragen erläutert.

3.1 Systemabgrenzung

Die Auswahl der betrachteten Pilotprojekte erfolgte vorwiegend aufgrund der vorhandenen Datenbasis und Literatur zu diesen Projekten. Der Fokus wurde hierbei auf Projekte aus Österreich und Deutschland gelegt.

3.2 Datenbeschaffung

Um einen möglichst umfassenden Überblick zum System der Wertstofftonne zu erlangen, wurde eine Kombination aus unterschiedlichen Methoden vorgenommen. Die Datenerhebung selbst erfolgte in mehreren Schritten.

Ergänzend zu einer vertiefenden Literaturrecherche (siehe Kapitel 3.2.1), werden ExpertInneninterviews durchgeführt (siehe Kapitel 3.2.2). Diese sollen einen tiefergehenden Einblick in ausgewählte Pilotprojekte und praxisnahe Inputs der Projektteilnehmer liefern. Des Weiteren werden im Zuge einer Betriebsbegehung die organisatorischen Abläufe rund um Sammlung, Anlieferung und vor allem Sortierung des Inhalts der Wertstofftonne näher betrachtet (siehe Kapitel 3.2.3).

3.2.1 Literaturrecherche

Im Zuge der Literaturrecherche wird bereits vorhandene allgemeine und spezifische Literatur herangezogen. Als zusätzliche Informationsquellen dienen interne Unterlagen die von den betreffenden Entsorgungsbetrieben zur Verfügung gestellt werden. Hier sind vor allem der Reinhaltverband Grüne Tonne Neunkirchen Recycling- und Kompostierungsgesellschaft mbH., die Stadtreinigung Hamburg, die Stadt Karlsruhe, der Zweckverband Abfallwirtschaft Westsachsen und das Institut für Entsorgung und Umwelttechnik – IFEU dankend zu erwähnen.

3.2.2 ExpertInneninterviews

Im Laufe der Betriebsbegehung, siehe Kapitel 3.2.3, fand ein erstes Gespräch mit Ing. Gerd Hettlinger, Geschäftsleitung der Reinhaltverband GRÜNE TONNE Neunkirchen Recycling- und Kompostierungsgesellschaft mbH, statt.

Im Zuge der Recherche zu den unterschiedlichen Projekten zur Wertstofftonne, konnten durch Kontaktaufnahme mit Projektteilnehmer, potentielle Interviewpartner gefunden werden. Ein erstes ExpertInneninterview wurde mit Jochen Ebbing vom IFEU – Institut für Entsorgung und Umwelttechnik GmbH Iserlohn durchgeführt.

Am 30.10.2015 fand am Standort der Reinhaltverband GRÜNE TONNE Neunkirchen Recycling- u. Kompostierungsgesellschaft mbH ein Expertengespräch mit der Geschäftsleiter Ing. Hettlinger statt.

Die transkribierten Interviews sind im Anhang (siehe Kapitel 11) an die vorliegende Arbeit verfügbar.

3.2.3 Betriebsbegehung

Im Zuge der Betriebsbegehung auf dem Gelände der Reinhaltverband Grüne Tonne Neunkirchen Recycling- und Kompostierungsgesellschaft mbH. werden die Prozesse der Sortierung einer näheren Betrachtung unterzogen. Es werden dabei die einzelnen Komponenten des Sortierprozesses näher betrachtet. Während der Begehung werden handschriftliche Notizen verfasst und ergänzend dazu die einzelnen Komponenten der Sortieranlage, sowie ihre Eingangs- und Ausgangsmaterialien fotografisch festgehalten.

Die Betriebsbegehung fand am 28. April 2015 im Zeitraum von 09:00 bis 12:00 Uhr unter Führung von Ing. Gerd Hettlinger, Geschäftsleitung der Reinhaltverband Grüne Tonne Neunkirchen Recycling- und Kompostierungsgesellschaft mbH., statt. Weiters nahmen an der Begehung Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Stefan Petrus Salhofer – Betreuer der vorliegenden Arbeit, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Marion Huber-Humer – Leitung Institut für Abfallwirtschaft Universität für Bodenkultur und Dipl.-Ing. Mag.rer.soc.oec. Peter Beigl – Senior Scientist Institut für Abfallwirtschaft teil.

4. Die getrennte Sammlung

Der Begriff „getrennte Sammlung“ bezeichnet nach SCHARF (2005) ein System der Sammellogistik, in dem die anfallenden Abfälle separat erfasst werden. Dieses System hat sich in Österreich und Deutschland flächendeckend etabliert. Im folgenden Abschnitt soll die Entwicklung der getrennten Sammlung und ihr aktueller Status in Österreich näher erläutert werden.

4.1 Entwicklung der getrennten Sammlung in Österreich

Die immer weiter ansteigenden Mengen an Abfall führten in den 1970er Jahren zu einem Umdenkprozess. Daraus entwickelte sich im Jahr 1975 die getrennte Sammlung von Glas, Papier und Kunststoffen (MA 48, s.a.).

SCHARF (2005) definiert folgende Begleitumstände für die Einführung einer getrennten Abfallsammlung:

- Veränderungen der Einkommensstrukturen und dadurch wachsender Wohlstand führten zur vermehrten Entsorgung von Abfällen, die zuvor in den Haushalten verbrannt wurden.
- Ein starkes Anwachsen der anfallenden Abfallmengen führte zur raschen Erschöpfung bestehender Deponievolumina.
- Starker Anstieg des Bedarfs und gleichzeitig auch des Verbrauchs an Produkten.

Das System der getrennten Sammlung hat sich im Laufe der Jahre einer Weiterentwicklung unterzogen. Auf die aktuelle Ausgestaltung dieses Systems wird im nächstfolgenden Abschnitt näher eingegangen.

4.2 Status Quo

Altstoffe werden in Österreich aktuell durch regional unterschiedliche Sammelsysteme erfasst. Größtenteils werden in Österreich folgende Fraktionen getrennt erfasst (BAUMGARTNER, 2009):

- PPK
- Restmüll
- Biomüll
- LVP
- Metalle
- Weißglas
- Buntglas



Abb. 2: Aktuelle Sammelbehälter der MA 48 in Wien (MA 48, s.a.)

In Abb. 2 sind die aktuellen Abfallsammelbehälter der Stadt Wien dargestellt. In der Stadt Wien wurde im Jahr 2005 die Umstellung von der gemischten LVP-Sammlung auf eine reine Hohlkörpersammlung vorgenommen (MA 48, 2009).

Bei der Hohlkörper- bzw. Plastikflaschensammlung werden nur noch stofflich verwertbare LVP – PET-Flaschen, Hohlkörper aus PE – in der gelben Tonne/gelben Sack erfasst. Energetisch verwertbare Verpackungen werden über die Restmüllsammlung entsorgt (NEITSCH, 2002). Österreichweit sind nach ARA (2015) über drei Millionen Einwohner in den Bundesländern Wien, Niederösterreich, Salzburg und Kärnten an dem System der Plastikflaschensammlung beteiligt, siehe Abb. 3 in oranger Farbe hinterlegt.

In Abb. 3 sind die unterschiedlichen Systemvarianten der LVP-Sammlung für Österreich dargestellt. Der Großteil der LVP-Sammlung erfolgt über den Gelben Sack/die Gelbe Tonne in allen gelb hinterlegten Bezirken. In den blau eingefärbten Bezirken werden, nach NEITSCH (2002) LVP und Metallverpackungen gemeinsam im Gelben Sack erfasst.

In den niederösterreichischen Bezirken Wien-Umgebung, Gänserndorf, Mistelbach, Korneuburg, Hollabrunn und in der Stadt Klagenfurt werden Plastikflaschen und Metall Dosen gemeinsam über den Gelben Sack/die Gelbe Tonne gesammelt, siehe Abb. 3.

Eine spezielle Systemvariante der Wertstoffsammlung stellt die Grüne Tonne im Bezirk Neunkirchen dar, in welcher alle trockenen Wertstoffe gemeinsam erfasst werden. Auf dieses System wird in Kapitel 5.2.1 näher eingegangen.

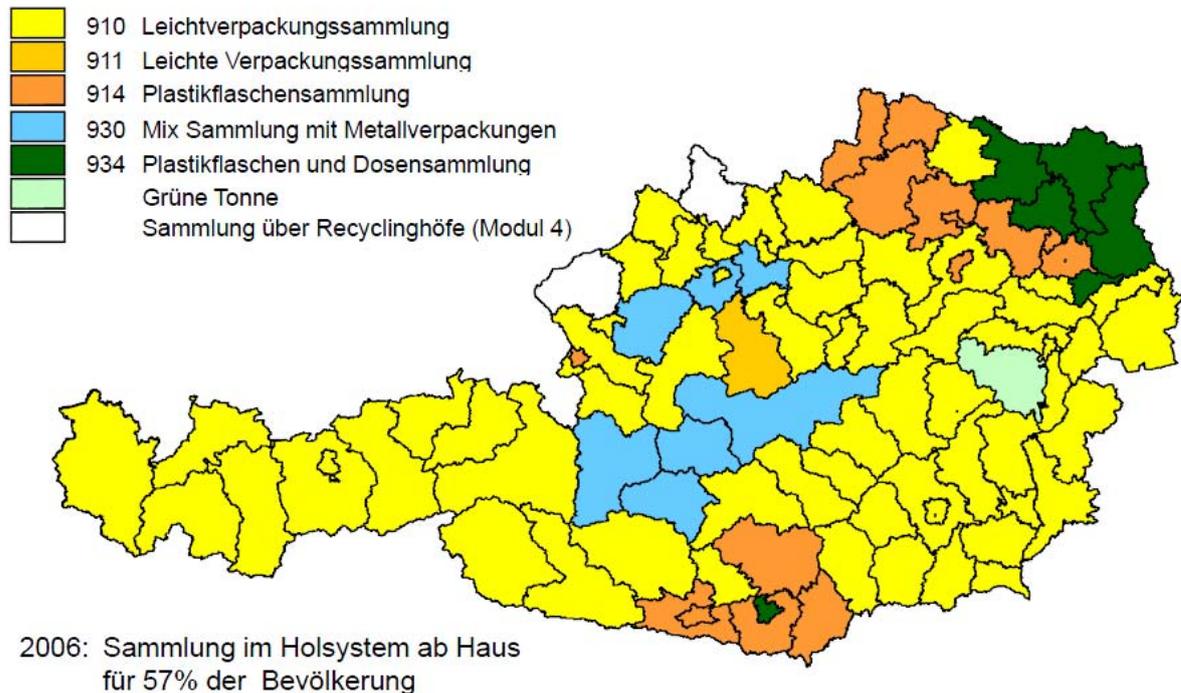


Abb. 3: LVP-Sammlung 2007 - Sammelfraktionen nach Regionen (BAUMGARTNER, 2009)

4.3 Vergleich der Erfassungs- und Verwertungssysteme für Verpackungsabfälle in Österreich und Deutschland

In Abb. 4 sind die Systeme der Erfassung und Verwertung von Verpackungsabfällen in Österreich und Deutschland gegenübergestellt.

Metalle werden in Österreich im Bringsystem, in der Regel getrennt von LVP, erfasst. Die Sammlung von LVP erfolgt sowohl im Bring-, als auch im Holsystem, hier ergeben sich je nach Sammelregion Unterschiede, siehe Abb. 3. Die Erfassung von GVK erfolgt nach REH et al. (2014) über die Öko-Box im Holsystem.

Die nach Vorbehandlung und Sortierung erzeugten verwertbaren Fraktionen – sortenreine Kunststofffraktionen SKF, Metalle, GVK, teilweise Mischkunststofffraktionen MKF – werden der stofflichen Verwertung zugeführt. Der Großteil der MKF, sowie Sortierreste und LVP-Mengen aus der Restabfallsammlung werden thermisch verwertet (REH et al., 2014).

In Deutschland erfolgt im Holsystem die Erfassung von LVP und Metallen überwiegend gemeinsam. Im Bringsystem hingegen werden Verpackungsabfälle nach REH et al. (2014) meist getrennt nach Metallen und LVP erfasst. Im Gegensatz zu Österreich wurde in Deutschland ein Pfandsystem für Einweggetränkeverpackungen etabliert. In die stoffliche Verwertung gelangen SKF und Metalle, teilweise werden auch Anteile der MKF, GVK und PPK recycelt. Sortierreste und die übrige MKF werden energetisch verwertet (REH et al., 2014).

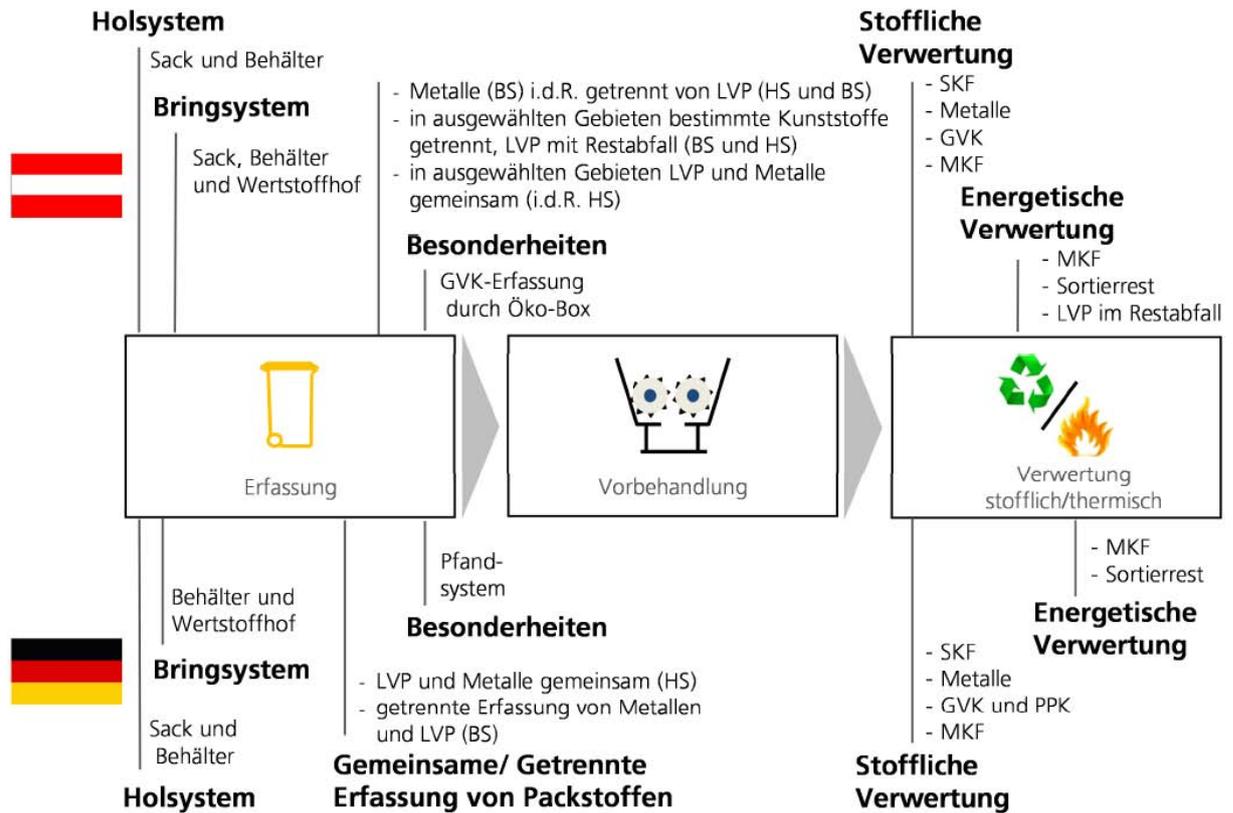


Abb. 4: Vergleichende Darstellung der Erfassung und Verwertung von Verpackungsabfällen in Österreich und Deutschland (REH et al., 2014)

Die Verwertungswege der getrennt erfassten LVP und Metalle für Österreich sind in Abb. 5 dargestellt. In Bezug auf das Gesamtgewicht werden rund 48 % stofflich und die restlichen 52 % energetisch verwertet (REH et al., 2014).

In der Stadt Wien beispielsweise, mit dem etablierten Hohlkörpersammelsystem, werden die restlichen Kunststoffe und Verbunde über den Restabfall erfasst und in einer MVA energetisch verwertet, diese werden als so genannte Zukaufmengen von den Kommunen durch die ARA AG erworben (REH et al., 2014). Unter Berücksichtigung dieser Zukaufmengen sinkt der Anteil der stofflichen Verwertung auf rund 41 %.

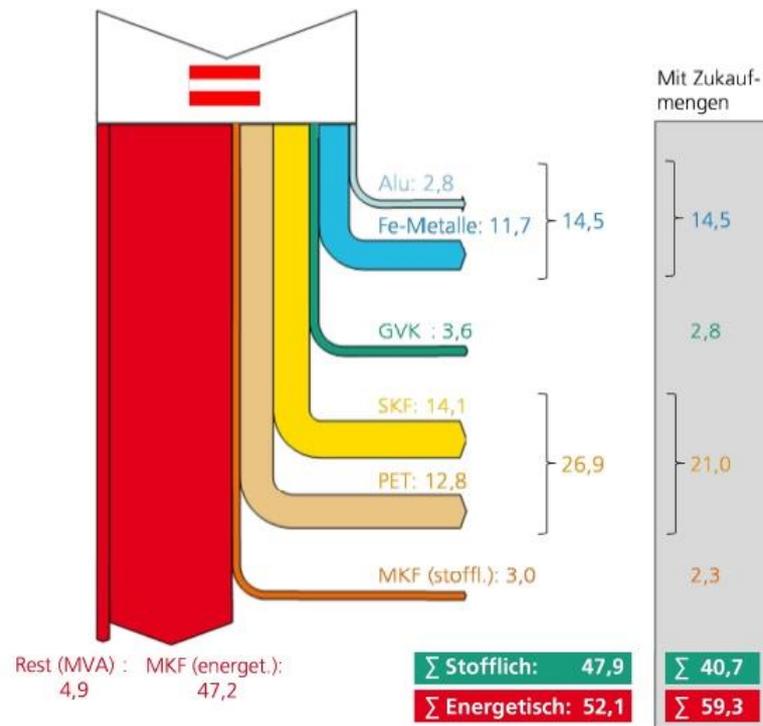


Abb. 5: Getrennt erfasste LVP und Metallverpackungen in Österreich – Fraktionen zur Verwertung in Gew.-%

Die Stoffströme für getrennt erfasste LVP sind in Abb. 6 für Deutschland dargestellt. Vom Gesamtgewicht der getrennt erfassten LVP gehen rund 45 % in die stoffliche Verwertung, die restlichen 55 % werden einer energetischen Verwertung zugeführt (REH et al., 2014). Somit ist der Anteil der stofflichen Verwertung in Deutschland, ohne Beachtung der Zukauf- und Pfandmengen, um rund 2 % geringer als in Österreich. Bei Berücksichtigung der Pfandmengen steigt der Anteil der stofflichen Verwertung in Deutschland auf rund 55 % an.

Unter Einbeziehung der Zukauf- und Pfandmengen liegt der Anteil der stofflichen Verwertung in Deutschland rund 14 % über jenem in Österreich.

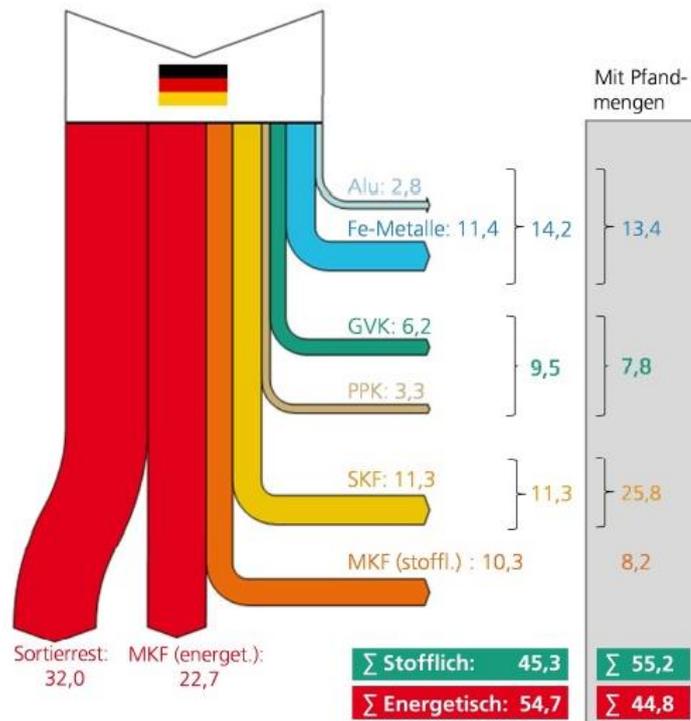


Abb. 6: Getrennt erfasste LVP in Deutschland – Fraktionen zur Verwertung in Gew.-%

5. Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse, resultierend aus der Literaturrecherche in Kombination mit jenen von den Systembetreibern zur Verfügung gestellten Unterlagen und den gewonnenen Informationen aus den Expertengesprächen dargestellt. Beginnend mit dem System der Wertstofftonne werden ausgewählte Beispiele für die Umsetzung der Wertstofftonne in Österreich und Deutschland beschrieben, sowie weitere Beispiele für innovative Sammelsysteme aufgezeigt. Des Weiteren werden die beeinflussenden Faktoren – stoffliche Verwertung, Sortiertechnologie – auf die Einführung einer Wertstofftonne erläutert.

5.1 Die Wertstofftonne

Grundgedanke der Einführung einer Wertstofftonne ist die gemeinsame Erfassung von LVP und definierten Stoffgruppen, z.B. StNVP, Holz und Elektrokleingeräten (OETJEN-DEHNE, 2009). Ziel der Erfassung definierter Stoffgruppen über die Wertstofftonne ist ihre Zuführung zu einer hochwertigen stofflichen Verwertung und die Unterbindung ihrer Entsorgung über den Restabfall.

Nach SENATSVERWALTUNG FÜR GESUNDHEIT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ BERLIN (2011) soll durch die Einführung einer einheitlichen Wertstofftonne die Wertstoffsammlung abhängig von Materialeigenschaften erfolgen und nicht wie bisher abhängig von den Produkteigenschaften.

Als grundlegende Entscheidung für die Einführung einer einheitlichen Wertstofftonne steht die Frage nach den gemeinsam in der Wertstofftonne zu erfassenden Abfallfraktionen. Zu diesem Zweck wurde im Jahr 2011 im Auftrag des Umweltbundesamtes eine drei-teilige Studie mit dem Titel „Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung“ veröffentlicht. Ein Teilvorhaben befasste sich dabei mit der Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne. Das Ergebnis waren Empfehlungen für die Zuordnung einzelner Materialgruppen zu einer trockenen Wertstofftonne, siehe Tab. 1. Den farblichen Markierungen sind folgende Bewertungen zugeordnet:

- **Grün:** geeignet für Erfassung in der Wertstofftonne
- **Gelb:** keine eindeutige Bewertung im Rahmen der Studie vornehmbar
- **Rot:** ungeeignet für die Erfassung in der Wertstofftonne.

Die Erfassung von LVP wird durchgehend positiv bewertet, da diese Erfassung bereits besteht und gut implementiert ist. Für die Materialgruppe der StNVP fällt die Bewertung ebenso positiv aus. Zum einen aufgrund der stofflichen Homogenität zu LVP und zum anderen in Bezug auf die Möglichkeit zur gemeinsamen Sortierung und Verwertung (BÜNEMANN et al., 2011). Weiters erfährt die Miterfassung von StNVP hohe Akzeptanz durch den Nutzer und ist teilweise bereits gelebte Praxis durch sogenannte intelligente Fehlwürfe. Denn die Unterscheidung zwischen Verpackungen (Gelbe Tonne) und anderen Kunststoffen (Restmüll) in Bezug auf deren Entsorgung, ist für einen Großteil der Bevölkerung nicht vollständig nachvollziehbar (BSR, 2010). Aus diesem Grund wird die Ausweitung der Wertstoffsammlung unter den Gesichtspunkten der Verbraucherfreundlichkeit und einer Optimierung der Wertstoffabschöpfung forciert und eine Miterfassung von StNVP als sinnvoll erachtet.

Aufgrund mangelnder Evidenz konnte für die Erfassung von Elektrokleingeräten im Rahmen der Studie keine eindeutige Bewertung abgegeben werden. Denn es sprechen sowohl Faktoren für, als auch welche gegen die Erfassung dieser Stoffgruppe in der Wertstofftonne. Positiv zu erwähnen sind das hohe Wertstoffpotential der Elektrokleingeräte und die Möglichkeit zur Steigerung der Erfassungsquoten durch die Sammlung über die Wertstofftonne. Dem negativ gegenüber stehen zum einen notwendige Adaptierungen der Sortiertechnik und zum anderen die Verlagerung von EEAG aus der Mono-Erfassung in die Wertstofftonne, bei schlechter Erfassungs- und Sortierqualität und dadurch verminderter Wiederverwendbarkeit und Verwertbarkeit (BÜNEMANN und CHRISTIANI, 2011). Eine Zuweisung ist nach BÜNEMANN et al. (2011) nur dann zielführend, wenn ausreichende Erfassungsquoten über die Mono-Erfassung nicht erbracht werden können.

Für die Materialgruppe Holz fällt die Bewertung nach BÜNEMANN et al. (2011) negativ aus, denn der ökologische Nutzen steht hier in absolut keiner Relation zu den notwendigen Kosten, vor allem im Bereich der Sortierung.

Eine eindeutige Bewertung gegen die Erfassung in der Wertstofftonne liefert die Studie für die Materialgruppen Textilien und Batterien. Denn nach BÜNEMANN et al. (2011) würde die Miterfassung bestehende, funktionierende Parallelsysteme gefährden, ohne adäquate Verwertungsoptionen zu liefern.

Auch von der Erfassung von Gummi in der Wertstofftonne wird abgeraten, da es hier an der Sortierfähigkeit und der stofflichen Verwertbarkeit mangelt.

Tab. 1: Bewertung der Materialgruppen zur Erfassung in einer trockenen Wertstofftonne (Eigene Darstellung nach BÜNEMANN et al., 2011; BÜNEMANN und CHRISTIANI, 2011)

Materialgruppe	Begründung
LVP	+ Erfassung bereits im Status Quo
StNVP	+ Legalisierung des Verbraucherverhaltens + Stoffgleichheit der Materialien mit LVP + Gemeinsame Sortierung und Verwertung möglich + Ökologisch und ökonomisch vorteilhaft
Elektrokleingeräte	+ Wertstoffpotential (Metalle, Edelmetalle) + Steigerung der Erfassung durch haushaltsnahe Sammlung - Erweiterung der Sortiertechnik erforderlich - Verlagerung von bisher separat gesammelten EEAG in die Wertstofftonne
Holz	- Hoher Sortieraufwand - Relation ökologischer Nutzen / ökonomischer Aufwand
Textilien	- Parallel-Erfassungssystem gefährdet - Keine ökologisch adäquaten Verwertungsoptionen
Batterien	- Nicht sortierfähig - Parallel-Erfassungssystem gefährdet - Querkontaminationen (Hg, Cd)
Gummi	- Nicht sortierfähig - Nicht stofflich verwertbar

5.2 Beispiele für die Umsetzung der Wertstofftonne

Im folgenden Abschnitt der Arbeit sollen unterschiedliche Beispiele für die Umsetzung der Wertstofftonne einer näheren Betrachtung unterzogen werden. Dazu wurden Projekte aus Österreich und Deutschland, basierend auf dem verfügbaren Datenmaterial ausgewählt. Die ausgewählten Projekte sind in Tab. 2 gegenübergestellt. Weiters sind Tab. 2 die erfassten Stoffgruppen – in grüner Farbe hinterlegt und der Beginn des Regelbetriebs zu entnehmen. Farblich gelb hinterlegte Stoffgruppen wurden nur im Rahmen des Pilotversuchs miterfasst und finden im Regelbetrieb keine Beachtung.

In der Hamburger Wertstofftonne wurden z.B. im Pilotversuch LVP, StNVP, Elektrokleingeräte und Holz erfasst. Nach Übergang in den Regebetrieb wurden die Fraktionen Elektrokleingeräte und Holz aus dem Erfassungskatalog gestrichen, womit aktuell nur noch LVP und StNVP in der Hamburger Wertstofftonne erfasst werden.

Tab. 2: Übersicht der betrachteten Regionen - Miterfasste Stoffgruppen, Regelbetrieb (Eigene Darstellung nach BÜNEMANN et al., 2011; BECKER, 2009; HASUCHA, 2006; WIECZOREK, 2012; REINHALTEVERBAND GRÜNE TONNE GMBH, 2007)

	LVP	StNVP	EKG	Glas	PPK	Holz	Regelbetrieb
Grüne Tonne, Neunkirchen							1986
Gelbe Tonne ^{plus} , Leipzig							2007
Gelbe Tonne ^{plus} / Wertstofftonne Berlin							2013
Hamburger Wertstofftonne							2011
Wertstofftonne Karlsruhe					bis 2015		1989



Stoffgruppe miterfasst



nur im Pilotversuch eingeschlossen

5.2.1 Neunkirchen

Eingangs sind in Tab. 3 allgemeine Informationen zum betreffenden Bezirk Neunkirchen und Daten zum Abfallsammelsystem aufgelistet. Demnach setzt sich der Bezirk Neunkirchen aus 44 Gemeinden zusammen und umfasst eine Gesamtfläche von rund 1.150 km² (AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, s.a.). Mit 75 E/km² weist der Bezirk Neunkirchen die geringste Einwohnerdichte der fünf ausgewählten Regionen mit Wertstofftonne auf.

Tab. 3: Allgemeine Informationen zum Verwaltungsbezirk Neunkirchen und zum Sammelsystem der Grüne Tonne (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, s.a.; ⁽²⁾ STATISTIK AUSTRIA, 2015; ⁽³⁾ REINHALTEVERBAND GRÜNE TONNE GMBH, 2007; ⁽⁴⁾ TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015)

Verwaltungsbezirk Neunkirchen, Niederösterreich, Österreich	
Bestehend aus 44 Gemeinden	
Fläche	1.150 km ² ⁽¹⁾
Angeschlossene Einwohner	85.745 ⁽²⁾
Einwohner pro km²	75 E/km ²
Systemeinführung	Regelbetrieb seit 1986 ⁽³⁾
Abfallsammelsystem haushaltsnah	<ul style="list-style-type: none"> • Grüne Tonne (Wertstoffe) • Graue Tonne (Restmüll) • Bio Tonne (Küchen- und Gartenabfälle)
Grüne Tonne erfasste Stoffgruppen	<ul style="list-style-type: none"> • LVP • StNVP • EKG • Glas • PPK • Holz • Textilien
Abfallaufkommen 2014 (Graue Tonne, Grüne Tonne und Bio Tonne)	316,1 kg/E*a ⁽⁴⁾

Mit 01.01.1986 wurde im Bezirk Neunkirchen ein Zwei-Tonnen-System eingeführt (REINHALTEVERBAND GRÜNE TONNE GMBH, 2007). Das Sammelsystem setzte sich aus der Grünen Tonne für trockene Abfälle – Wertstoffe, trockener Restmüll und der Grauen Tonne für Nassmüll zusammen.

Ausschlaggebend für diese Änderung des Sammelsystems war nach HETTLINGER (2015b) das nahende Verfüllende der bestehenden Deponien und die nicht erfolgte Genehmigung eines neuen Deponiestandortes, aufgrund suboptimaler Bodenverhältnisse. Aus dieser Situation heraus entwickelten sich Gespräche mit der im Bezirk ansässigen Papierfirma Hamburger Prinzhorn AG, welche noch mehr Potentiale zur Gewinnung von Altpapier aus dem Abfall ausschöpfen wollte. Unter Nutzung dieser Synergien wurde, nach dem Vorbild eines deutschen Projektes, das Sammelsystem adaptiert und die Trennung des Abfalls in eine trockene und nasse Fraktion festgelegt (HETTLINGER, 2015b). Durch diese Umstellung war der Trockenmüll sortierbar und es konnten Wertstoffe – hauptsächlich Altpapier und Metalle – gewonnen werden. Zusätzlich konnte auch ein Großteil der

Nassmüllfraktion, nach Sichtung bzw. Siebung, zu Kompost weiterverarbeitet werden. Durch die Vorsortierung im Haushalt in eine nasse und eine trockene Fraktion konnte somit die anfallende Abfallmenge reduziert werden.

Trotz Systemumstellung wurde eine dritte Deponie – Deponie Steinthal – in der Verbandsgemeinde Seebenstein errichtet, um dort die zurückbleibenden, nicht verwertbaren Reste abzulagern (HETTLINGER, 2015b)

Somit erfolgt in den Haushalten eine Trennung der Abfälle in eine nasse und eine trockene Fraktion. Nach Abholung der Tonnen durch die Gemeinden wird im Sortierwerk Grüne Tonne die exakte Sortierung der Abfälle vorgenommen. Die dabei aussortierten Wertstoffe werden verkauft und der gesichtete Restmüll bzw. die Sortierreste deponiert – seit 2004 wird der Restmüll einer thermischen Verwertung zugeführt (REINHALTERVERBAND GRÜNE TONNE GMBH, 2007).

Der Rechnungshof hat in seinem Bericht 2006 zum „Abfallwirtschaftskonzept in Niederösterreich“ dargelegt, dass das Zwei-Tonnen-System in Neunkirchen nicht der „Verordnung über die getrennte Sammlung biogener Abfälle“ entspricht und somit nicht gesetzeskonform ist (RECHNUNGSHOF, 2006). Der Auftrag des Rechnungshofes lautete somit, bis Ende 2010 eine gesetzeskonforme Umsetzung dieser Verordnung zu gewährleisten.

Als Folge dessen fand mit 01.01.2011 die Erweiterung des Zwei-Tonnen-Systems um eine zusätzliche Biotonne statt (AWV NEUNKIRCHEN, 2011). Dadurch erfolgt eine Aufteilung der Mengen der jetzigen Grauen Tonne und die Erfassung aller kompostierbaren Inhalte über die Bio Tonne. Die Komponenten des erweiterten Sammelsystems sind nun folgende:

- **Grüne Tonne:** trockene Wertstoffe
- **Graue Tonne:** Restmüll
- **Bio Tonne:** kompostierbare Abfälle.

In Tab. 4 ist die Trennordnung des AWV Neunkirchen aufgeschlüsselt auf die drei Tonnen dargestellt. Daraus ist ersichtlich, welche Fraktionen in welcher Tonne gesammelt werden. In der Grünen Tonne werden alle trockenen Wertstoffe, wie Papier, Glas, Kunststoffe, Metalle, Textilien und Elektro-Kleingeräte erfasst. Alle Abfälle aus Küche, Haushalt und Garten, welche sich für eine Kompostierung eignen, werden in der Bio Tonne entsorgt. Alle übrigen Abfälle, die weder der Grünen, noch der Bio Tonne zuordenbar sind, werden in der Grauen Tonne als Restmüll erfasst.

Tab. 4: Übersicht Trennordnung AWV Neunkirchen (Eigene Darstellung nach AWV NEUNKIRCHEN, 2011)

GRÜNE TONNE Wertstoffe	BIO TONNE kompostierbare Abfälle	GRAUE TONNE Restmüll
<p>Papier (nicht gebündelt)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zeitungen, Zeitschriften, Kataloge • Papierverpackungen • Brief-, Schreib-, Kopierpapier 	<p>Küche und Haushalt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Speisereste, Knochen, Gräten • Obst-, Gemüse-, Küchenabfälle • Kaffee- und Teesud 	<ul style="list-style-type: none"> • Kehricht • Staubsaugerbeutel • Katzenstreu (nicht kompostierbar) • Wegwerfwindeln • Hygieneartikeln, Hygienepapier

<ul style="list-style-type: none"> • Kartonagen <p>Glas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einwegflaschen • Einsiedegläser • Glühbirnen • Konservengläser • Scheibenglas • Glasbruch <p>Kunststoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET Getränkeflaschen • Tetra Packungen • Kunststoffflaschen • Kunststoff-Kleinteile • Becher • Kunststoff-Spielzeug <p>Metalle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alu-/Weißblechdosen • Spraydosen • Eisenkleinteile etc. <p>Textilien</p> <ul style="list-style-type: none"> • unbrauchbare Kleidung • Stoffreste • Lederwaren • Bettfedern im Inlett <p>Elektro-Kleingeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rasierapparate • CD-Player • Bügeleisen • Mixer • Toaster • Aufnahmegeräte etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • ungenießbare/abgelaufene Lebensmittel (ohne Verpackung) • verschmutztes Papier (Küchenrolle, Servietten) • Eierschalen, Federn, Haare • Kleintiermist • Katzenstreu (kompostierbar) • Holzasche (kalt) <p>Garten und Grünfläche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gras-, Baum-, Strauchschnitt • Laub, Reisig • Blumen und Pflanzen • Gestecke • Blumenerde (kleine Mengen) • Hundekot (ohne Sackerl) • Fallobst 	<ul style="list-style-type: none"> • Asche (Kohle & Koks, kalt) • Hundekot (mit Sackerl) • stark verschmutztes Käse-, Wurst- und Fettpapier • stark verschmutzte (nasse) Altstoffe • Papiertaschentücher (feucht, stark verschmutzt) • Kaffeekapseln (metall-/kunststoffummantelt) • Zigarettenreste, -asche
--	--	---

Die Verwertungswege und Stoffflüsse des aktuellen Drei-Tonnen-Systems sind in Abb. 7 ersichtlich. Die in der Grünen Tonne gesammelten Wertstoffe werden in der Behandlungsanlage nach derzeit ca. 30 Fraktionen manuell, maschinell und sensor-gestützt sortiert und anschließend einer stofflichen Verwertung zugeführt (TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015). Sortierreste werden thermisch verwertet. Der Inhalt der Bio Tonne wird am Gelände der Grüne Tonne GmbH kompostiert. Nach AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (2014) hat die Kompostieranlage eine Kapazität von 25.000 t/a, Stand 2013 wurden vor Ort 15.000 t behandelt.

Nach ca. 10 Wochen Haupt- und ca. 38 Wochen Nachrotte weist der gewonnene Kompost nach HETTLINGER (2015a) Kompost Qualitätsklasse A auf. Die im Zuge

der Kompostierung ausgesiebten Störstoffe werden thermisch verwertet. Der in der Grauen Tonne gesammelte Restmüll wird am Gelände der Grüne Tonne GmbH lediglich umgeladen und in weiterer Folge einer thermischen Verwertung zugeführt.

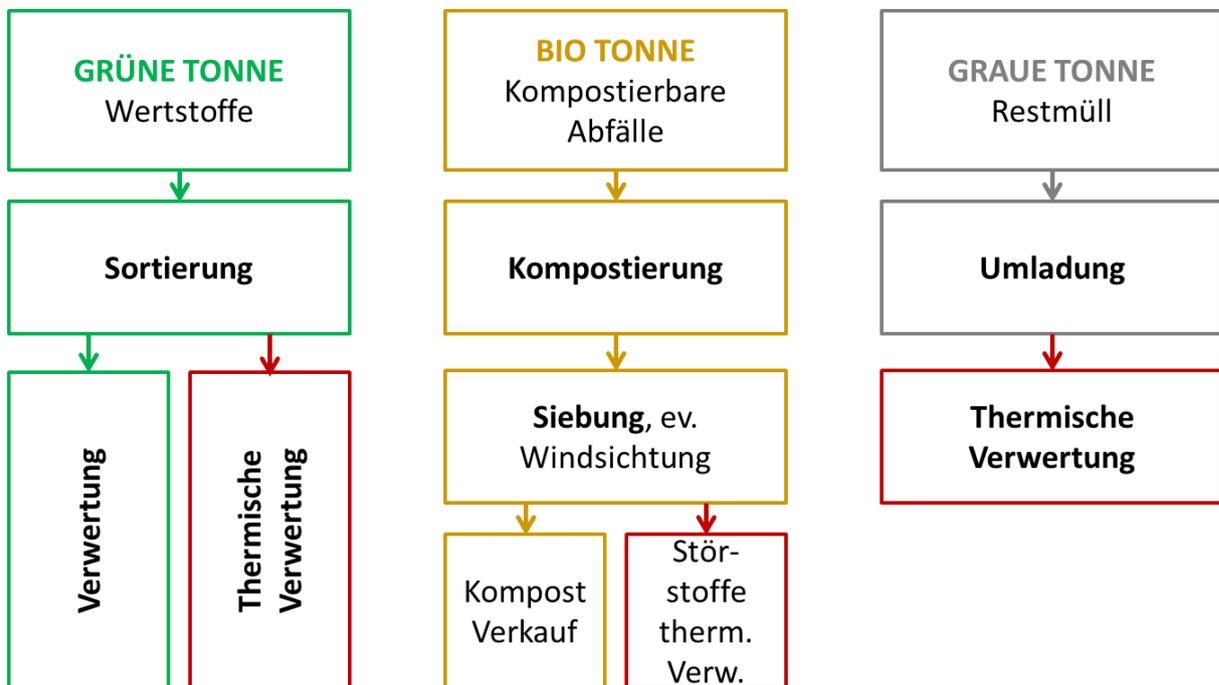


Abb. 7: Stoffflüsse des Sammelsystems im Bezirk Neunkirchen (Eigene Darstellung nach AWV NEUNKIRCHEN, 2011)

Im Jahr 2014 wurden nach FHA - GESELLSCHAFT FÜR CHEMISCH-TECHNISCHE ANALYTIK GMBH (2014) in den 44 Gemeinden des Bezirks Neunkirchen folgende Abfallmengen erfasst:

- Grüne Tonne: 14.732 t
- Graue Tonne: 3.942 t
- Bio Tonne: 8.350 t
- GESAMT: 27.024 t

Aufgeschlüsselt auf die 85.539 Einwohner, nach STATISTIK AUSTRIA (2014), ergeben sich folgende Sammelmengen für das Jahr 2014:

- Grüne Tonne: 172,4 kg/E*a
- Graue Tonne: 46,1 kg/E*a
- Bio Tonne: 97,6 kg/E*a
- GESAMT: 316,1 kg/E*a

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Zusammensetzung der Grünen und Grauen Tonne für das Jahr 2014 ist Tab. 5 zu entnehmen. Die Grüne Tonne setzt sich aus rund 36 % Verpackungen und etwa 64 % Nicht-Verpackungen zusammen. Bei den Verpackungen stellen sonstige Kunststoffverpackungen, gefolgt von Papierverpackungen die größten Fraktionen dar.

Für die Graue Tonne wurden im Zuge der, von der TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015 durchgeführten Analyse nur die

Verpackungsfractionen erhoben. Aus diesem Grund können keine Aussagen über die Erfassung von Nicht-Verpackungen in der Grauen Tonne getroffen werden. In der Grauen Tonne wurden im Jahr 2014 rund 7 % Verpackungsabfälle erfasst.

Tab. 5: Zusammensetzung der Grünen und Grauen Tonne im Jahr 2014 (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015)

	Fraktion	GRÜNE TONNE			GRAUE TONNE		
		Masse-%	t	kg/E*a	Masse-%	t	kg/E*a
Verpackungen	Fe-VP	2,19	322,62	3,77	0,24	9,46	0,11
	Al-VP	1,21	178,25	2,08	0,35	13,80	0,16
	Papier-VP	9,74	1.434,87	16,77	1,06	41,78	0,49
	Kunstst. PET VP	2,89	425,75	4,98	0,21	8,28	0,10
	Kunstst. sonst. VP	9,81	1.445,18	16,89	3,14	123,77	1,45
	GVK	1,17	172,36	2,01	0,15	5,91	0,07
	sonst. Verbunde VP	1,29	190,04	2,22	0,48	18,92	0,22
	Weißglas VP	3,06	450,79	5,27	0,74	29,17	0,34
	Buntglas VP	4,47	658,51	7,70	0,42	16,55	0,19
	Holz, Keramik, Textil, Biogene VP	0,14	20,62	0,24	0,02	0,79	0,01
	SUMME	35,97	5.298,99	61,95	6,81	268,43	3,14
Nichtverpackungen	PPK-NVP	30,44	4.484,33	52,42			
	Holz NVP	1,09	160,58	1,88			
	Fe-NVP	3,04	447,84	5,24			
	NE-NVP	0,67	98,70	1,15			
	Glas NVP	0,48	70,71	0,83			
	EPS NVP	0,02	2,95	0,03			
	Hartkunstst. Mix	2,98	439,00	5,13			
	Bauschutt, Inertes	1,88	276,96	3,24			
	EEAG	0,82	120,80	1,41			
	Problemstoffe	0,22	32,41	0,38			
	andere Abfälle	16,21	2.388,01	27,92	93,19	3.673,18	42,94
	Feinfraktion (<40 mm)	6,18	910,42	10,64			
	SUMME	64,03	9.432,71	110,27	93,19	3.673,18	42,94
GESAMT	100,00	14.731,70	172,22	100,00	3.941,61	46,08	
davon Verpackungen	35,97	5.298,99	61,95	6,81	268,43	3,14	

In der Grauen Tonne werden demnach 46,08 kg/E*a erfasst. Die detaillierte Zusammensetzung der Grauen Tonne ist in Abb. 8 graphisch dargestellt. Der Anteil an Verpackungen, die als Fehlwürfe in der Grauen Tonne entsorgt werden, liegt bei 3,14 kg/E*a, dies entspricht rund 6,8 % des Inhalts der Grauen Tonne. Den größten Anteil dieser Verpackungen stellen LVP dar, gefolgt von Altglas VP, Papier VP und Metall VP.

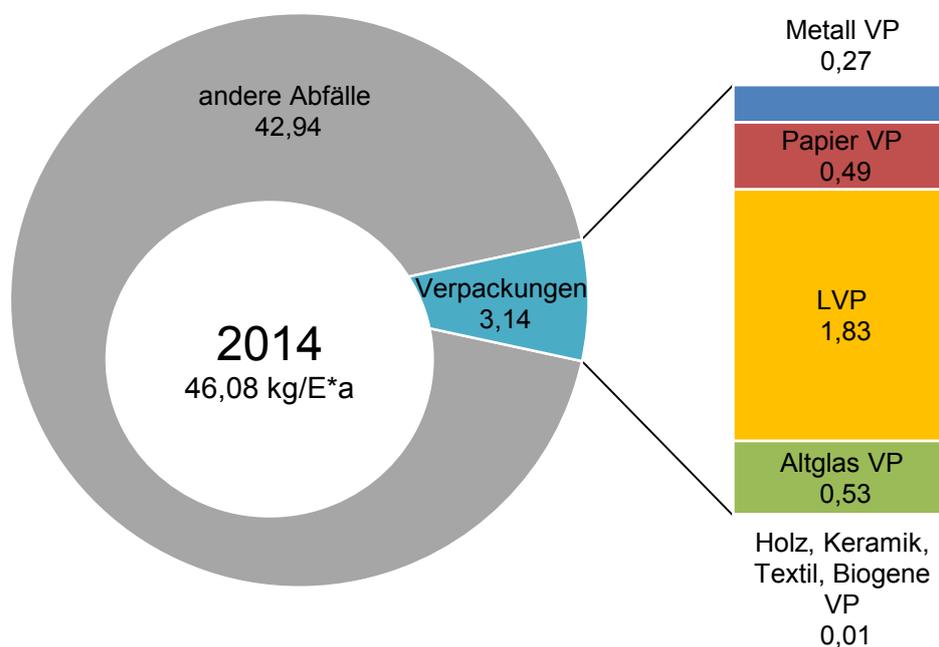


Abb. 8: Zusammensetzung der Grauen Tonne im Bezirk Neunkirchen im Jahr 2014 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015)

Aufbauend auf den Daten aus Tab. 5 können für die einzelnen Fraktionen die getrennt erfassten Anteile und in weiterer Folge deren Erfassungsquoten berechnet werden. Für Metallverpackungen beläuft sich der getrennt erfasste Anteil auf 5,86 kg/E*a (Summe Fe-VP und Al-VP). Demgegenüber stehen 0,27 kg/E*a Metallverpackungen, welche über die Graue Tonne entsorgt werden. Somit ergibt sich eine Erfassungsquote von 95,6 %. Die getrennt erfassten Anteile und Erfassungsquoten für die betreffenden Verpackungsabfälle, sind in Tab. 6 dargestellt. Die höchste Erfassungsquote mit 97,2 % wird für Papier VP erreicht. Die niedrigste Erfassungsquote in Bezug auf Verpackungsabfälle, weisen LVP mit 93,4 % auf. Hier werden 26,11 kg/E*a getrennt in der Grünen Tonne erfasst, trotzdem landen 1,83 kg/E*a LVP als Fehlwürfe in der Grauen Tonne.

Tab. 6: Getrennt erfasste Verpackungsmengen und deren Anteile im Restabfall [kg/E*a], Erfassungsquoten (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015)

	getrennte Erfassung [kg/E*a]	Aufkommen im Restabfall [kg/E*a]	Abfallpotential [kg/E*a]	Erfassungsquote
Metalle VP	5,86	0,27	6,13	95,6%
Papier VP	16,77	0,49	17,26	97,2%
LVP	26,11	1,83	27,94	93,4%
Altglas VP	12,97	0,53	13,50	96,0%
Holz, Keramik, Textil, Biogene VP	0,24	0,01	0,25	96,3%
SUMME	61,95	3,14	65,09	95,2%

Um die erfassten Mengen des AWV Neunkirchen in Relation zu Gesamt Niederösterreich zu setzen, wurde nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH (2015) für die LVP-Mengen ein Mittelwert aller niederösterreichischen Verbände mit 22,0 kg/E*a berechnet. In Tab. 7 sind die Sammelmengen des AWV Neunkirchen jenen von Gesamt Niederösterreich gegenübergestellt. Die in der Grünen Tonne gesammelte Glasmenge liegt mit 13,0 kg/E*a deutlich unter dem niederösterreichischen Durchschnitt von 24,0 kg/E*a. Bei Metallverpackungen liegen die Sammelmengen der Grünen Tonne mit 5,9 kg/E*a über dem Durchschnittswert von 3,4 kg/E*a. Und auch für Leichtverpackungen liegen die in der Grünen Tonne gesammelten Mengen mit 26,4 kg/E*a über dem niederösterreichischen Durchschnitt von 22,0 kg/E*a.

Tab. 7: Gegenüberstellung der Sammelmengen AWV Neunkirchen und Gesamt Niederösterreich (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015 und ⁽²⁾ AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2014)

	Neunkirchen ⁽¹⁾ [kg/E*a]		Gesamt NÖ ⁽²⁾ [kg/E*a]
Bio Tonne	97,8		92,3
Graue/Grüne Tonne (NVP Anteile) bzw. Restmüll NÖ	46,1	104,0	145,3
	57,9		
Altpapier inkl. Kartonagen	69,2		78,9
Altglas VP	13,0		24,0
Metalle VP	5,9		3,4
LVP	26,4		22,0
SUMME	316,1		365,9

In Summe werden in Neunkirchen, siehe Tab. 7, im Vergleich zu Gesamt Niederösterreich, jährlich geringere Abfallmengen pro Einwohner gesammelt. Hier ergibt sich eine Differenz der Sammelmengen von 50 kg/E*a. Nach HETTLINGER (2015a) resultiert dieser Mengenunterschied im nicht ausreichend angebotenen Sammelvolumen. Somit finden die Nutzer anderwärtige Entsorgungswege, wie z.B. die direkte Anlieferung von Altpapier an eine der drei im Bezirk ansässigen Papierfabriken oder die Entsorgung von Altglas in angrenzenden Bezirken mit öffentlich zugänglichen Glassammelcontainern.

Als Reaktion auf dieses Volumenproblem und die im Vergleich zu Gesamt Niederösterreich geringeren Erfassungsmengen für Altglas, siehe Tab. 7, wurden im Jahr 2015 im gesamten Bezirk Neunkirchen zusätzliche Glassammelcontainer aufgestellt (HETTLINGER, 2015b). Als weitere Maßnahme soll ab 2016 eine zusätzliche Papiersammeltonne eingeführt werden, um so nach HETTLINGER (2015b) mehr Volumen in der Grünen Tonne zu schaffen und die erfassten Abfallmengen zu steigern. Denn PPK NVP stellen mit rund 30 % den massebezogenen größten Anteil der Grünen Tonne, siehe Abb. 9. Die in Abb. 9 dargestellte Massenzusammensetzung der Grünen Tonne wurde im Rahmen von quartalsweisen Probenahmen und Analysen im Jahr 2014 erhoben.

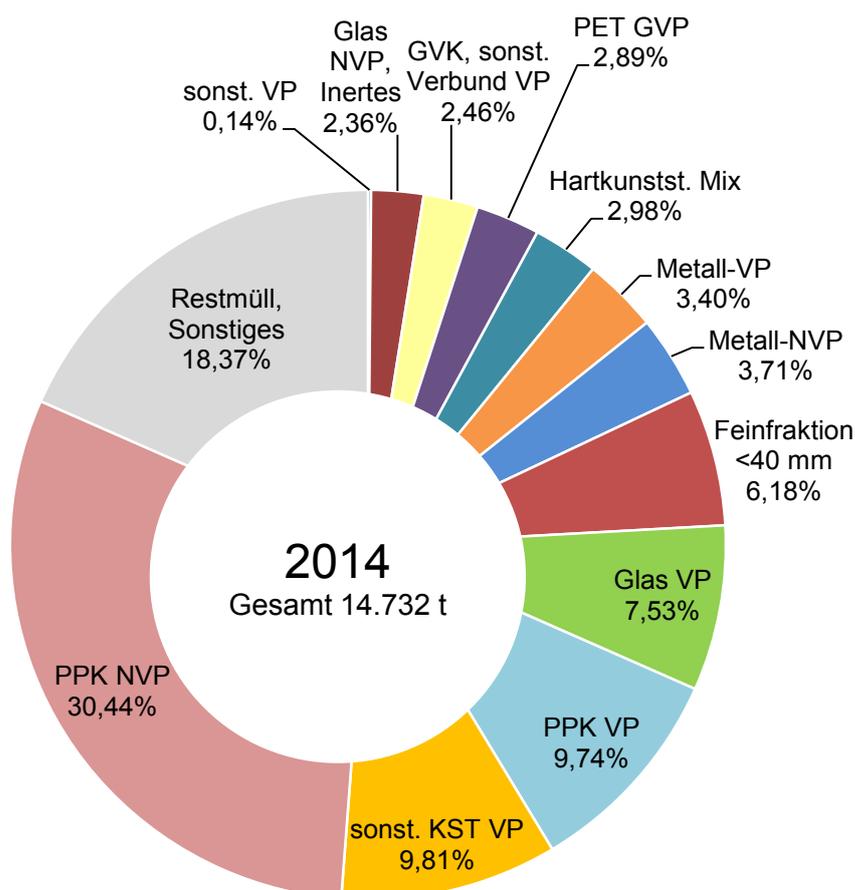


Abb. 9: Massenzusammensetzung Grüne Tonne 2014 (Eigene Darstellung nach FHA - GESELLSCHAFT FÜR CHEMISCH-TECHNISCHE ANALYTIK GMBH, 2014)

Somit erfolgt die Erfassung der Fraktionen Papier und Glas zukünftig zum einen weiterhin über die Grüne Tonne und zum anderen über die zusätzlich installierten Glas- bzw. Papiersammelcontainer.

HETTLINGER (2015b) sieht einen ganz klaren Vorteil des Sammelsystems in Neunkirchen darin, dass sich die Entscheidung der Abfalltrennung vom Haushalt in das Sortierwerk verlagert. Der Nutzer muss somit z.B. nicht wissen, ob es sich bei einem bestimmten Abfall um eine Verpackung handelt oder nicht, da diese Entscheidung erst nachgelagert im Sortierwerk von Profis getroffen wird.

5.2.2 Leipzig

Im gesamten Stadtgebiet Leipzig wurde, beginnend mit 15. September 2004, das System Gelbe Tonne^{plus} im Zuge eines Pilotversuchs erprobt (LANGEN et al., 2008). In Tab. 8 sind allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Leipzig und zum System Gelbe Tonne^{plus} zusammengefasst.

Tab. 8: Allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Leipzig und zum Sammelsystem der Gelbe Tonne^{plus} (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ STADT LEIPZIG AMT FÜR STATISTIK UND WAHLEN, 2014; ⁽²⁾ STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN, 2015; ⁽³⁾ OETJEN-DEHNE, 2009; ⁽⁴⁾ STADTREINIGUNG LEIPZIG, 2015a)

Stadtgebiet Leipzig, Sachsen, Deutschland	
Fläche	297,4 km ² ⁽¹⁾
Angeschlossene Einwohner	546.451 ⁽²⁾
Einwohner pro km²	1.837 E/km ²
Systemeinführung	Regelbetrieb seit 2007 ⁽³⁾ (Pilotversuch 2004)
Abfallsammelsystem haushaltsnah	<ul style="list-style-type: none"> • Gelbe Tonne^{plus} • Blaue Tonne (PPK) • Biotonne • Restabfalltonne
Gelbe Tonne^{plus} erfasste Stoffgruppen	<ul style="list-style-type: none"> • LVP • StNVP • EKG
Abfallaufkommen 2014 (Restabfall, Glas, PPK, LVP, Schrott, Bioabfall, Sperrmüll zur Verwertung)	362 kg/E*a ⁽⁴⁾

Nach LANGEN et al. (2008) führt eine Systemumstellung hin zur Gelbe Tonne^{plus} zur:

- Steigerung der Verwertungsquoten,
- Steigerung der Nutzerfreundlichkeit durch vereinfachte Zuweisungsvorgaben,

- Effizienzsteigerung der Sammlung und Sortierung sowie
- Kostensenkung auf der Lizenz- und Gebührenebene.

Bis zur Einführung der Gelbe Tonne^{plus} wurden in der bestehenden gelben Tonne nur Verpackungsmaterialien mit dem Grünen Punkt aus Plastik, Aluminium, Weißblech und Verbundmaterialien erfasst (HASUCHA, 2007). In der Gelbe Tonne^{plus} werden zusätzlich dazu trockene Wertstoffe - Metalle, Kunststoffe und Elektrokleingeräte - erfasst. Das entsorgte Material darf eine Größe von 30 x 30 cm (LANGEN et al., 2008) nicht überschreiten und Elektrokleingeräte dürfen nur ohne Kabel, Akkus und Batterien entsorgt werden.

Abb. 10 zeigt die Entwicklung der Sammelmenge der LVP-Sammlung und der Gelbe Tonne^{plus} im Stadtgebiet Leipzig im Vergleich. Im Verlauf des Modellversuchs stiegen die Erfassungsmengen von 28,0 kg/E*a auf 34,8 kg/E*a, dies entspricht einem Zuwachs von 6,8 kg/E*a. Weiters ersichtlich ist ein Anstieg der Wertstoffmengen um rund 4,0 kg/E*a, während die Restabfallanteile nahezu konstant geblieben sind.

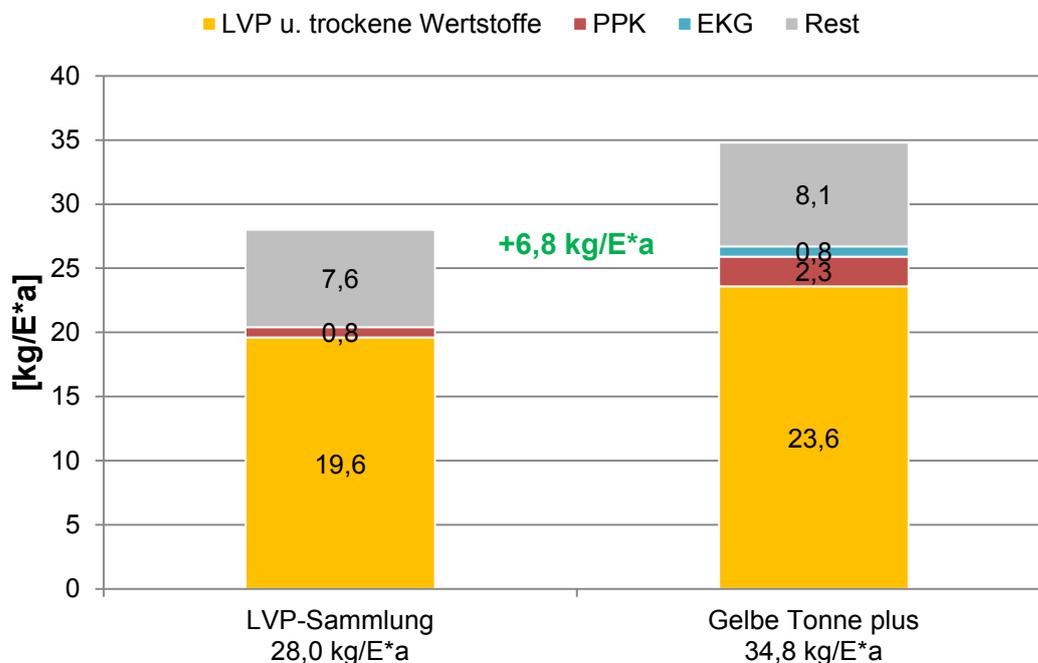


Abb. 10: Gegenüberstellung der Zusammensetzung der LVP-Sammlung und der Gelbe Tonne^{plus}-Sammlung der Stadt Leipzig (Eigene Darstellung nach LANGEN et al., 2008)

Im Zuge des Pilotprojektes wurde auch ein Kostenmodell für das System Gelbe Tonne^{plus} erstellt. Dieses ergab, nach LANGEN et al. (2008), für das Bezugsjahr 2006 eine Kosteneinsparung von 252.814 €/a, dies entspricht etwa 0,50 €/E*a.

Bedingt durch die positiven Ergebnisse des Pilotversuchs wurde das Erfassungssystem Gelbe Tonne^{plus} in Leipzig flächendeckend beibehalten und ist dort 2007 in den Regelbetrieb übergegangen (OETJEN-DEHNE, 2009).

Im Jahr 2013 wurde im Auftrag der Stadtreinigung Leipzig eine Restabfallanalyse durchgeführt. Hierbei wurde die Zusammensetzung des Restabfalls in der Stadt Leipzig untersucht. Der Anfall an Restabfall 2013 betrug 110,7 kg/E*a, davon 18,7

kg/E*a, rund 17 % Verpackungen, siehe Abb. 11. Den größten Anteil der Verpackungen stellt Altglas, gefolgt von LVP dar.

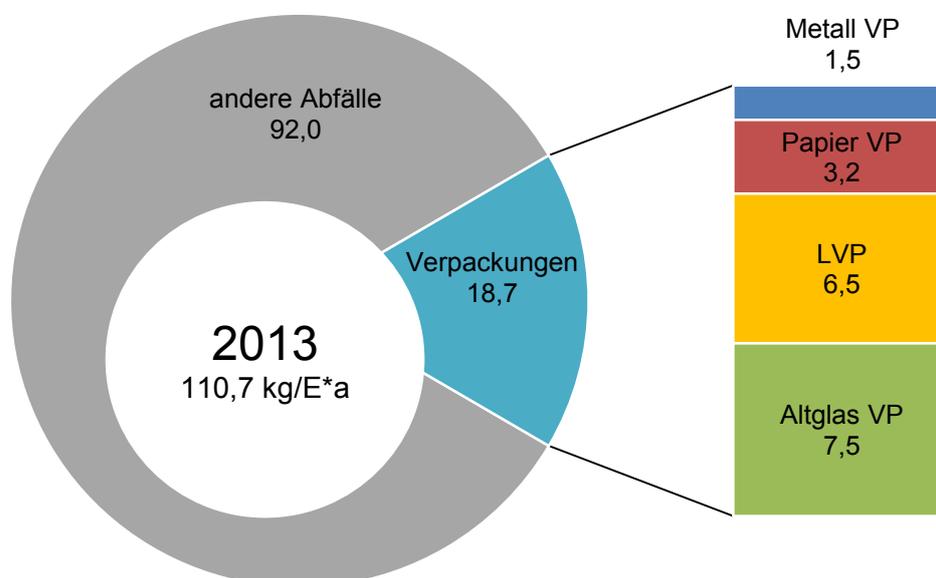


Abb. 11: Zusammensetzung des Restabfalls der Stadt Leipzig 2013 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach SHC, 2014)

Um Erfassungsquoten zu berechnen, wurden für die Stadt Leipzig die Mengen der getrennt erfassten Verpackungen jenen Anteilen im Restabfall gegenübergestellt, siehe Tab. 9. Aus dieser Darstellung ersichtlich, werden im Restabfall rund 18,7 kg/E*a Verpackungen entsorgt. Daraus abgeleitet ergeben sich die Erfassungsquoten für die einzelnen Abfallfraktionen. Die höchste Erfassungsquote wird in der Stadt Leipzig bei Papier VP, mit 93,7 %, gefolgt von LVP mit 86,9 % erreicht.

Tab. 9: Getrennterfassung von Verpackungsabfällen, Aufkommen im Restabfall, Abfallpotential und Erfassungsquote in der Stadt Leipzig (Eigene Darstellung nach SHC, 2013)

	getrennte Erfassung [kg/E*a]	Aufkommen im Restabfall [kg/E*a]	Abfallpotential [kg/E*a]	Erfassungsquote
Metalle VP	3,4	1,5	4,9	69,4%
Papier VP	47,6	3,2	50,8	93,7%
LVP	43,0	6,5	49,5	86,9%
Altglas VP	23,2	7,5	30,7	75,6%
SUMME	117,2	18,7	135,9	86,2%

In Abb. 12 sind die Verwertungs- und Behandlungswege der festen Siedlungsabfälle der Stadt Leipzig, ohne Gewerbeabfälle, für die Jahre 2003 und 2011 gegenübergestellt. Daraus ist ein Rückgang der Mengen an festen Siedlungsabfällen um rund 16 kg/E*a abzulesen. Auch die Verwertungswege haben sich in diesen acht Jahren verändert. Wurden 2003 noch fast die Hälfte der festen Siedlungsabfälle abgelagert, so ist dieser Anteil im Jahr 2011 auf 0 % zurückgegangen. Der Anteil der Verwertung gesamt – stofflich, als auch biologisch – ist im Verlauf der Jahre von 53 % auf 60 % angestiegen. Der restliche Teil der festen Siedlungsabfälle, welcher 2011 nicht der Verwertung zugeführt wird, wird in einer MBA/MVA behandelt.

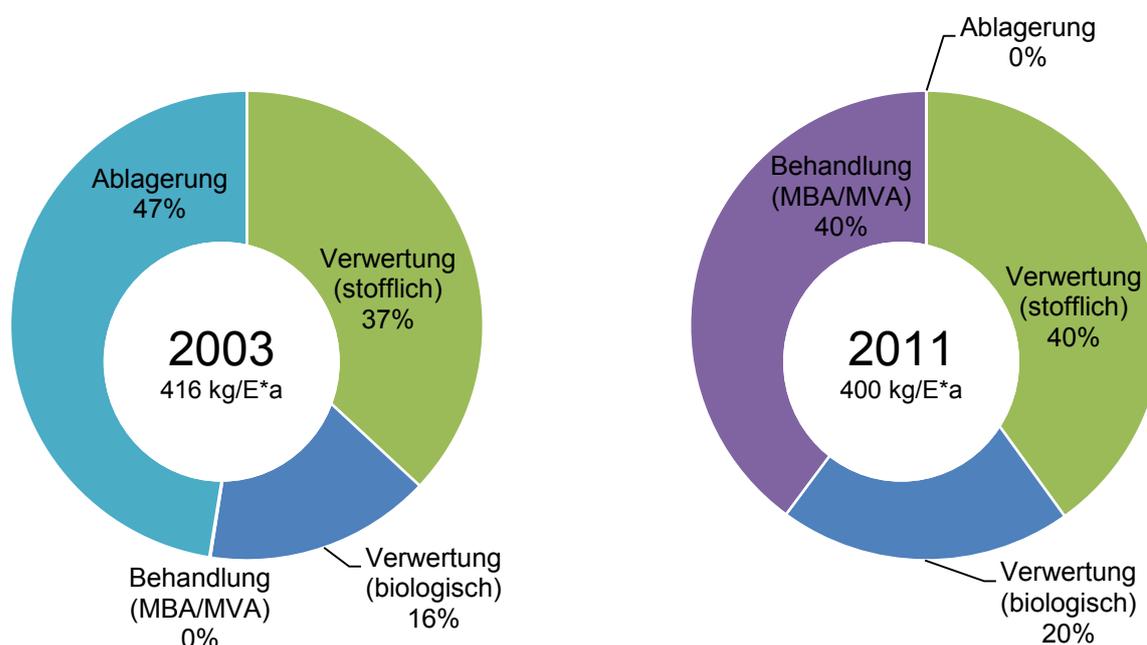


Abb. 12: Feste Siedlungsabfälle Stadt Leipzig (ohne Gewerbeabfälle) - Gegenüberstellung 2003 - 2011 (Eigene Darstellung nach ZAW, 2004, 2012)

5.2.3 Berlin

In Tab. 10 sind zum ersten Überblick, allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Berlin und zum Sammelsystem der Berliner Wertstofftonne zusammengefasst.

Tab. 10: Allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Berlin und zum Sammelsystem der Wertstofftonne Berlin (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2015; ⁽²⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN et al., 2014; ⁽³⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014)

Stadtgebiet Berlin, Berlin, Deutschland	
Fläche	891,7 km ² ⁽¹⁾

Angeschlossene Einwohner	3.469.800 ⁽¹⁾
Einwohner pro km²	3.891 E/km ²
Systemeinführung	Regelbetrieb Berliner Wertstofftonne seit 2013 ⁽²⁾ Pilotversuche: <ul style="list-style-type: none"> • Gelbe Tonne^{plus} ab 2004 • Orange Box ab 2009
Abfallsammelsystem haushaltsnah	<ul style="list-style-type: none"> • Wertstofftonne • Biogut-Tonne • Hausmüll-Tonne
Berliner Wertstofftonne erfasste Stoffgruppen	<ul style="list-style-type: none"> • LVP • StNVP
Abfallaufkommen 2013 (Hausmüll, Sperrmüll, getrennt erfasste Fraktionen)	394,7 kg/E*a ⁽³⁾

In der Stadt Berlin wurde, im Auftrag des privaten Entsorgungsunternehmens ALBA Berlin GmbH, die Gelbe Tonne^{plus} von September bis Dezember 2004 in ca. 5.200 Wohneinheiten getestet. In Abb. 13 sind die Trennvorgaben für Haushalte dargestellt, demnach werden in der Gelbe Tonne^{plus} folgende Fraktionen erfasst:

- LVP
- StNVP
- Elektrokleingeräte
- Holz.

ALBA Gelbe Tonne^{plus}: Die gelbe Tonne für alle trockenen Wertstoffe

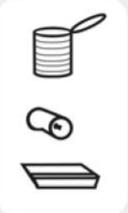
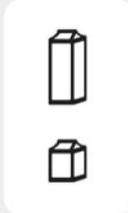
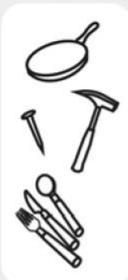
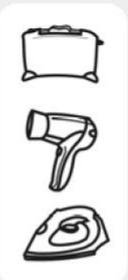
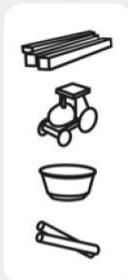
<p>Plastik</p> <p>Joghurtbecher Plastiktüten Folien Schaumstoffe Kunststoff-Flaschen</p> 	<p>Aluminium und Weißblech</p> <p>Konservendosen Aluminiumschalen und -folien</p> 	<p>Verbundstoffe</p> <p>Saft- und Milchkartons</p> 
<p>jetzt zusätzlich für:</p>		
<p>Metalle</p> <p>Töpfe, Pfannen Werkzeuge, Nägel Schrauben, Besteck</p> 	<p>Elektroklein- geräte unzerstört (bis max. 30 x 30 cm)</p> <p>Rasierapparate, Haartrockner, Toaster, Bügeleisen, Kaffee- maschinen, Wecker, Computerzubehör, keine Batterien und Akkus, Geräte möglichst ohne Stromkabel, keine Fernseher, keine Monitore</p> 	<p>Holz</p> <p>Leisten, Profile (bis max. 30 cm Länge), Flechtkörbe, Spielzeug</p> <p>Kunststoffe</p> <p>Schüsseln, Siebe, Abdeckfolien, Blumentöpfe, Spielzeug, Rohrverschnitt</p> 
<p>Nicht in die gelbe Tonne gehören: Elektrogroßgeräte und sperrige Gegenstände wie Mikrowellen oder Staubsauger, Sperrmüll oder Restabfall, Gartenabfall, Biomaterialien, feuchte Küchenabfälle, mineralische Abfälle, Alttextilien, Schadstoffe, Bauschutt, Speisereste, Windeln</p> 		

Abb. 13: Sammelsystem Gelbe Tonne^{plus} - erfasste Stoffe (ALBA GROUP PLC & CO. KG, 2006)

Im Zuge des Pilotversuchs 2004 konnten die Sammelmengen von 15,6 kg/E*a auf 22,8 kg/E*a gesteigert werden, dies entspricht einem Zuwachs von rund 7,2 kg/E*a (ABGEORDNETENHAUS BERLIN, 2007). Eine genaue Aufschlüsselung der Zusammensetzung der LVP-Sammlung und der Gelbe Tonne^{plus} ist in Abb. 14 ersichtlich. Daraus lässt sich eine deutliche Zunahme der Wertstoffmengen um rund 5,3 kg/E*a ablesen.

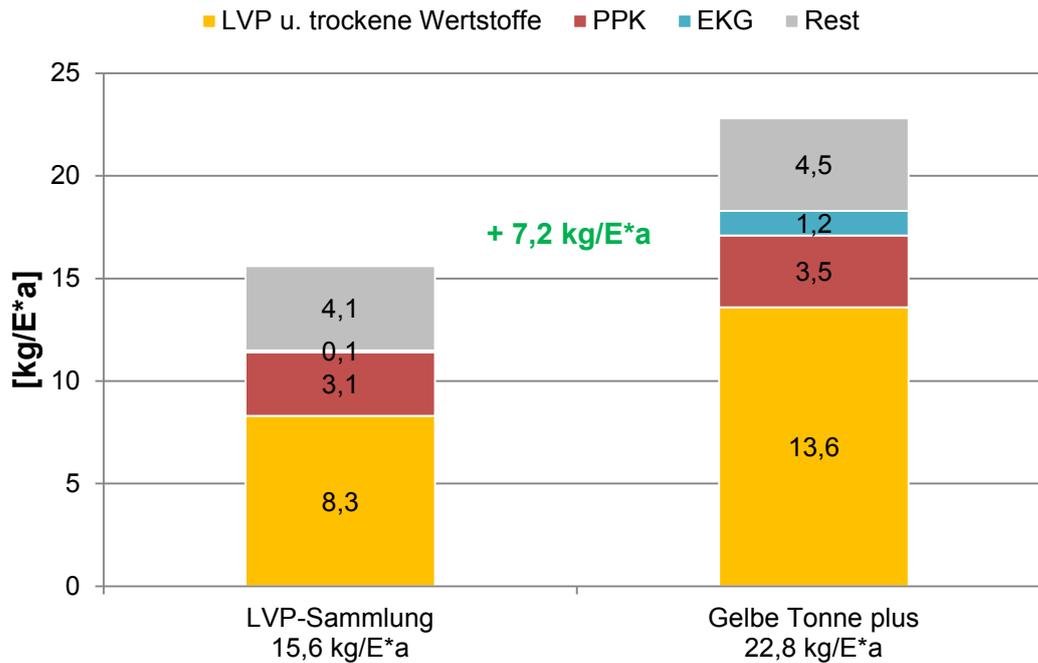


Abb. 14: Gegenüberstellung der Zusammensetzung der LVP-Sammlung und der Gelbe Tonne^{plus}-Sammlung der Stadt Berlin (Eigene Darstellung nach LANGEN et al., 2008)

Basierend auf diesen positiven Projektergebnissen wurde die Gelbe Tonne^{plus} beginnend mit Januar 2005 in Geschosswohnbauten des Landes Berlin eingeführt (LANGEN et al., 2008).

Folgende Faktoren haben nach HASUCHA (2007) den Ausschlag für das positive Fazit des Pilotversuchs gegeben:

- Steigerung der Erfassungsmengen,
- gute Akzeptanz des Systems Gelbe Tonne^{plus} durch die Bevölkerung,
- signifikanter Anstieg der Sammelmengen durch die Miterfassung trockener Wertstoffe und EEAG,
- verhältnismäßiger Rückgang des Restabfallanteils in den Gefäßen der Gelbe Tonne^{plus}.

Im Jahr 2009 wurde parallel zur Gelbe Tonne^{plus} eine kommunale Wertstofftonne, die Orange Box der Berliner Stadtreinigung, im Pilotversuch in Groß-Wohnanlagen eingeführt (SENATSVERWALTUNG FÜR GESUNDHEIT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ BERLIN, 2011). In der Orange Box wurden folgende Fraktionen erfasst:

- LVP
- StNVP
- Elektrokleingeräte
- Textilien
- Holz.

Beginnend im Jahr 2011 folgte die flächendeckende Einführung der Orange Box im gesamten Stadtgebiet Berlins, mit Ausnahme der Versuchsgebiete der Gelbe Tonne^{plus}.

Mit dem Ziel der Schaffung eines einheitlichen Systems zur Wertstofffassung in Berlin wurde mit 01.01.2013 eine gemeinsame Wertstofftonne eingeführt (SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN et al., 2014). Diese einheitliche Wertstofftonne löst die bestehenden Systeme - Gelber Sack/Gelbe Tonne, Orange Box, Gelbe Tonne^{plus} – ab und erfasst die Fraktionen LVP und StNVP. Die vorhandenen Behälter der Gelbe Tonne^{plus} bzw. der Orangen Box werden nicht ersetzt, sondern mittels neuen Tonnenaufklebern gekennzeichnet, siehe Abb. 15, und weiter verwendet.



Abb. 15: Wertstofftonne Berlin ersetzt Gelbe Tonne^{plus} und Orange Box (ALBA GROUP PLC & CO. KG, 2012)

Abb. 16 zeigt das Abfallaufkommen für Berlin im Jahr 2013, welches sich insgesamt auf 394,7 kg/E*a beläuft. Nach SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN et al. (2014) konnten bereits im ersten Jahr nach Einführung der gemeinsamen Wertstofftonne insgesamt 85.377 t Wertstoffe erfasst werden. Dies entspricht 6,36 % am gesamten Abfallaufkommen und somit rund 25,1 kg/E*a an LVP und StNVP, welche über die Wertstofftonne erfasst wurden.

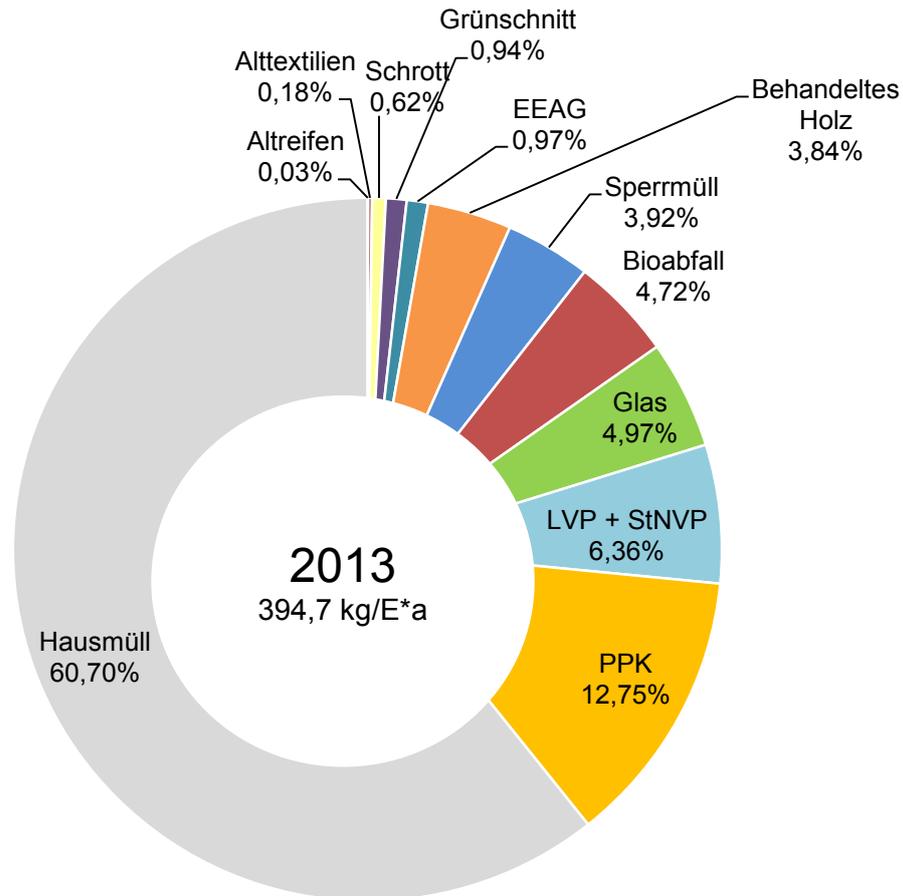


Abb. 16: Abfallaufkommen Berlin 2013 (Eigene Darstellung nach SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014)

Zusammensetzung der Wertstofftonne (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN et al., 2014):

- 50 % Kunststoffe
- 16 % Metalle
- 10 % PPK und GVK
- 24 % Fehlwürfe

Für das Jahr 2014 erfolgte im Auftrag der Berliner Stadtreinigungsbetriebe eine Hausmülluntersuchung für die Stadt Berlin. Abb. 17 zeigt die Zusammensetzung des Berliner Restabfalls. Dementsprechend werden nach BSR (2015) rund 72 kg/E*a Verpackungsmaterialien als Fehlwürfe über den Restabfall entsorgt. Dies entspricht rund 30 % des gesamten Restabfalls.

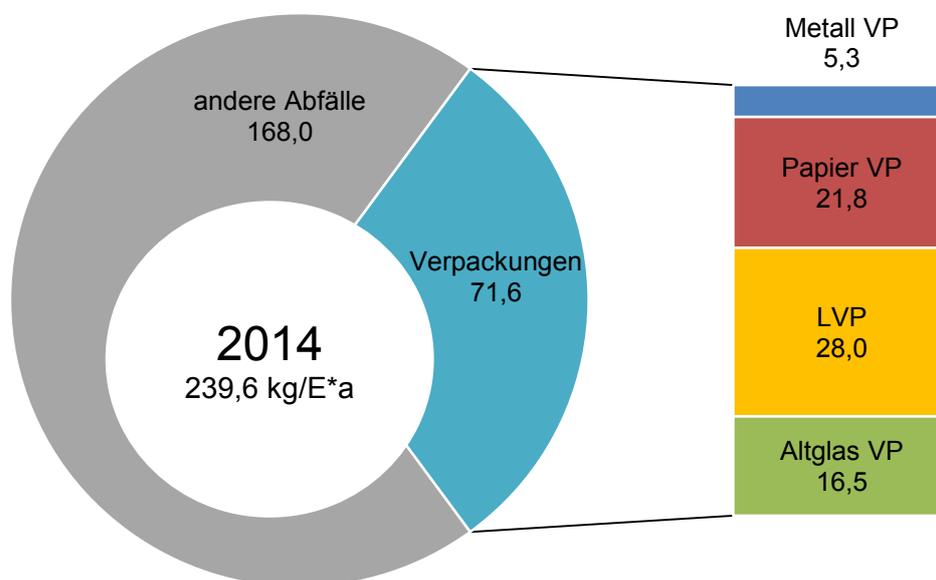


Abb. 17: Zusammensetzung des Restabfalls der Stadt Berlin 2014 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach BSR, 2015)

Tab. 11 zeigt eine detaillierte Aufschlüsselung der getrennt erfassten Verpackungsfraktionen und deren Anteilen im Restabfall. Daraus abgeleitet sind das jeweilige Abfallpotential und die Erfassungsquoten dargestellt. In der Stadt Berlin wird demnach die höchste Erfassungsquote für Papierverpackungen mit rund 70 % erreicht. Aufgrund der mangelnden Datenverfügbarkeit kann für die Fraktion der Metallverpackungen keine Bewertung vorgenommen werden.

Tab. 11: Getrennterfassung von Verpackungsabfällen, Aufkommen im Restabfall, Abfallpotential und Erfassungsquote in der Stadt Berlin (Eigene Darstellung nach SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015)

	getrennte Erfassung [kg/E*a]	Aufkommen im Restabfall [kg/E*a]	Abfallpotential [kg/E*a]	Erfassungsquote
Metalle VP	-	-	-	-
Papier VP	50,3	21,8	72,1	69,8%
LVP	25,1	28,0	53,1	47,3%
Altglas VP	19,6	16,5	36,1	54,3%
SUMME	95,0	66,3	161,3	58,9%

5.2.4 Hamburg

Im April 2006 wurde die Wertstofftonne im Stadtteil Hamburg-Langenhorn im Zuge eines Pilotversuches eingeführt (ATUS GMBH, 2012). Tab. 12 fasst überblicksmäßig die wichtigsten allgemeinen Informationen zum Stadtgebiet Hamburg und zum System der Hamburger Wertstofftonne zusammen.

Tab. 12: Allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Hamburg und zum Sammelsystem der Hamburger Wertstofftonne (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2015b; ⁽²⁾ STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2015a; ⁽³⁾ SIECHAU, 2011; ⁽⁴⁾ STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015c)

Stadtgebiet Hamburg, Hamburg, Deutschland	
Fläche	755,2 km ² ⁽¹⁾
Angeschlossene Einwohner	1.762.791 ⁽²⁾
Einwohner pro km²	2.334 E/km ²
Systemeinführung	Regelbetrieb seit 2011 ⁽³⁾ Pilotversuche ab 2006
Abfallsammelsystem haushaltsnah	<ul style="list-style-type: none"> • Gelbe Wertstofftonne • Grüne Biotonne • Blaue Papiertonne • Schwarze Restmülltonne
Hamburger Wertstofftonne erfasste Stoffgruppen	<ul style="list-style-type: none"> • LVP • StNVP
Abfallaufkommen 2014 (Hausmüll, Sperrmüll, getrennt erfasste Fraktionen)	408,8 kg/E*a ⁽⁴⁾

In der Versuchsphase wurde in der Wertstofftonne LVP, StNVP, Holz und Elektrokleingeräte erfasst. Bis Ende 2006 konnte durch die Einführung der Wertstofftonne im Versuchsgebiet Langenhorn eine Steigerung der spezifischen LVP-Mengen um 3-4 kg/E*a erreicht werden. Im Mittel wurden 25,0 kg/E*a erfasst (ATUS GMBH und INFA, 2009).

Daraufhin fand im Oktober 2007 eine Ausweitung des Versuchs auf die Stadtteile Wilstorf und die Siedlung Kirchdorf-Süd statt. Auch in diesen beiden Gebieten konnten nach ATUS GMBH und INFA (2009) die spezifischen LVP-Mengen gesteigert werden – Wilstorf +3 kg/E*a, Kirchdorf-Süd +2,5 kg/E*a.

Im Zuge des Modellversuchs wurden die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen einer stadtweiten Systemumstellung betrachtet. Die Kostenbetrachtung, summiert über alle Kostenblöcke – Abfuhr, Sortierung,

Verwertung/Beseitigung, ergab nach ATUS GMBH und INFA (2009) geringe Mehrkosten für die Wertstofftonne von ca. 0,10 €/E*a. Ökologisch gesehen birgt die getrennte Erfassung und Verwertung der LVP in Hamburg klare Vorteile.

Die stadtweite Einführung der Wertstofftonne erfolgt schließlich im Jahr 2011. Seither werden in der Hamburger Wertstofftonne LVP und StNVP erfasst. Ein detaillierter Zuweisungskatalog, der als Flyer an alle Hamburger Haushalte übermittelt wurde, ist in Abb. 18 ersichtlich.



Abb. 18: Erfasste Fraktionen der Hamburger Wertstofftonne (Eigene Darstellung nach WERT WERTSTOFF-EINSAMMLUNG GMBH, STADTREINIGUNG HAMBURG, 2011)

Die Sortierung der Hamburger Wertstofftonne erfolgt nach STADTREINIGUNG HAMBURG (2015a) in folgende Stofffraktionen:

- Kunststoff-Folien
- PP
- PET bunt
- PE
- PS
- Mischkunststoffe
- Weißblech
- Aluminium spezial
- Flüssigkeitskartons
- Sonstige Verbunde und PPK
- Sortierreste aus LVP.

Um einen Einblick in die Mengenzusammensetzung der Hamburger Wertstofftonne zu bekommen, führte die Stadtreinigung Hamburg im Februar 2015 eine Sortieranalyse durch. Die mengenspezifische Verteilung der einzelnen Stofffraktionen der Wertstofftonne ist in Abb. 19 dargestellt. Die größte Fraktion,

abgesehen vom Sortierrest, stellen die Mischkunststoffe, gefolgt von der Fraktion Weißblech dar.

Die Fraktion der Sortierreste, mit etwa 39 % Mengenanteil an der Wertstofftonne, wird thermisch verwertet (STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a). Alle übrigen, gewonnenen Stofffraktionen, werden weiter vermarktet und einer stofflichen Verwertung zugeführt. Somit kann die stoffliche Verwertungsquote, bezugnehmend auf die Sortieranalyse vom Februar 2015, mit etwa 60 % des Gesamtstoffstromes der Hamburger Wertstofftonne angenommen werden.

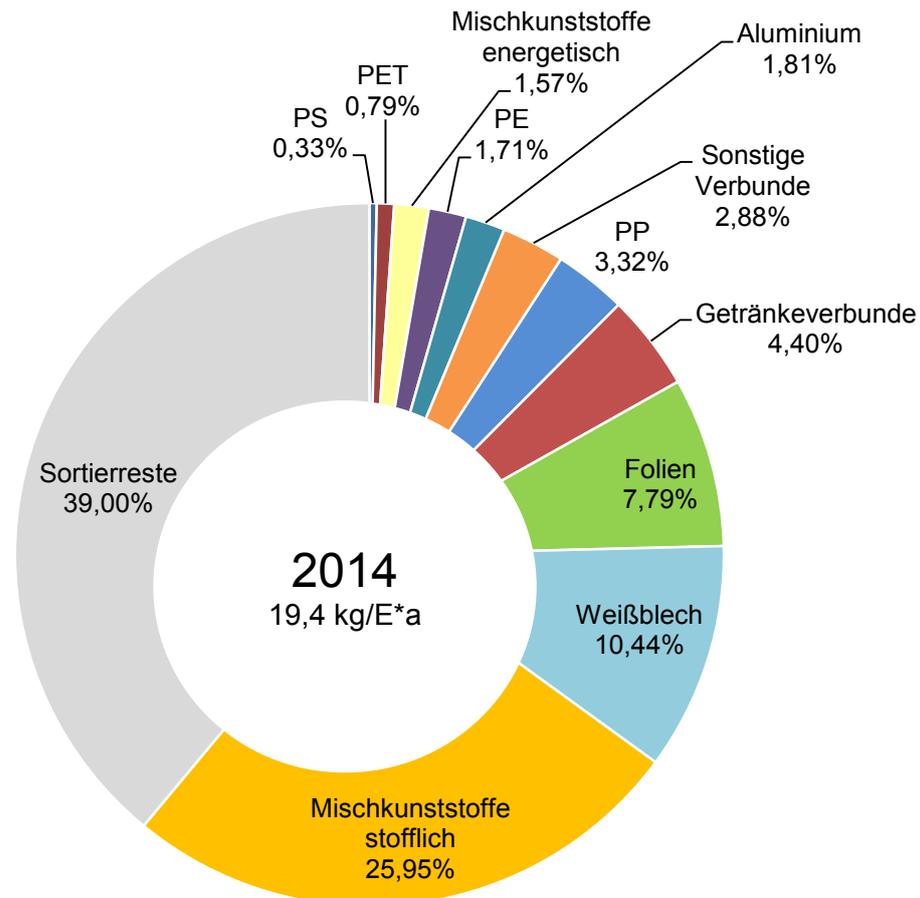


Abb. 19: Zusammensetzung Hamburger Wertstofftonne, Sortierversuch Februar 2015 (Eigene Darstellung nach STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a)

Gesamtheitlich betrachtet, gestaltet sich das Sammelsystem der Stadt Hamburg aktuell wie folgt (STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015b):

- im Holsystem
 - Schwarze Restmülltonne
 - Grüne Biotonne
 - Blaue Papiertonne
 - Gelbe Hamburger Wertstofftonne

- Grünabfall (Laubsäcke)
- im Bringsystem
 - Papiercontainer
 - Glascontainer

Die Entwicklung der Sammelmengen der Hamburger Wertstofftonne im Verlauf der Jahre 2010-2014 ist in Abb. 19 dargestellt. Daraus ist ein kontinuierlicher Anstieg der Sammelmengen an StNVP ersichtlich, wenngleich die erfassten LVP-Mengen seit 2012 nur gering zunehmen. Nach der BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG (2015) wurden im Jahr 2014 in der Hamburger Wertstofftonne 33.900 t Abfälle gesammelt, aufgerechnet auf die 1.748.915 Einwohner ergibt dies eine Menge von 19,4 kg/E*a.

In Abb. 20 sind die Sammelmengen der Hamburger Wertstofftonne, unterschieden nach LVP und StNVP, für die Jahre 2010-2014 dargestellt. Demnach lässt sich, seit Einführung der Hamburger Wertstofftonne im Jahr 2011, ein Anstieg der Gesamtmengen von 15,5 kg/E*a auf 19,4 kg/E*a verzeichnen. Diese Zunahme um 3,9 kg/E*a gründet vor allem in der Erweiterung des Sammel-systems um StNVP, wobei im Jahr 2014 in der Wertstofftonne 3,2 kg/E*a an StNVP erfasst wurden.

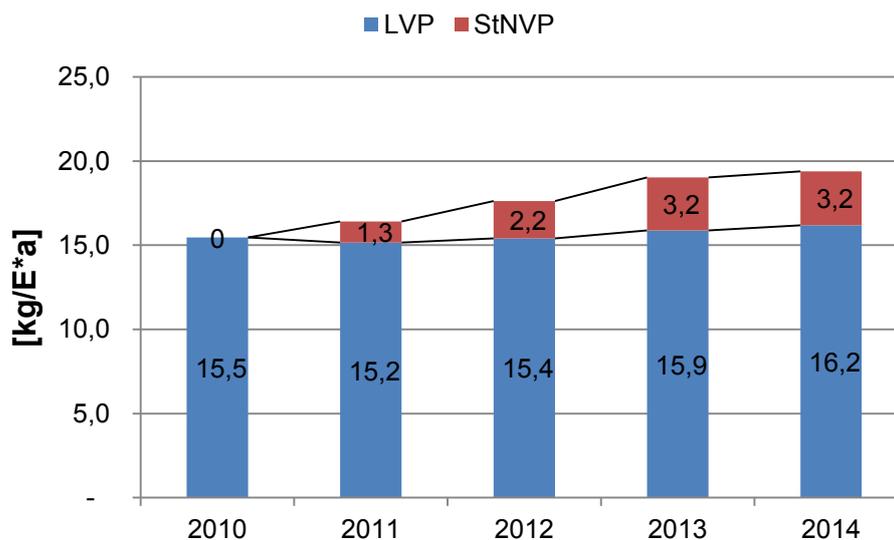


Abb. 20: Entwicklung der Sammelmengen der Hamburger Wertstofftonne - LVP und StNVP – 2010-2014 (Eigene Darstellung nach STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2013; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015)

Bei der im Jahr 2013 durchgeführten Hausmüllanalyse im Auftrag der Stadtreinigung Hamburg wurden Daten zu Hausmüllmengen und der Zusammensetzung des Hausmülls in der Stadt Hamburg erhoben. Die sich daraus ergebende Zusammensetzung des Restabfalls für das Jahr 2013 ist in Abb. 21 dargestellt. Demnach werden nach OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH (2014) über den Restabfall rund 41 kg/E*a an Verpackungen als Fehlwürfe entsorgt, dies entspricht rund 18 % des gesamten Restabfalls.

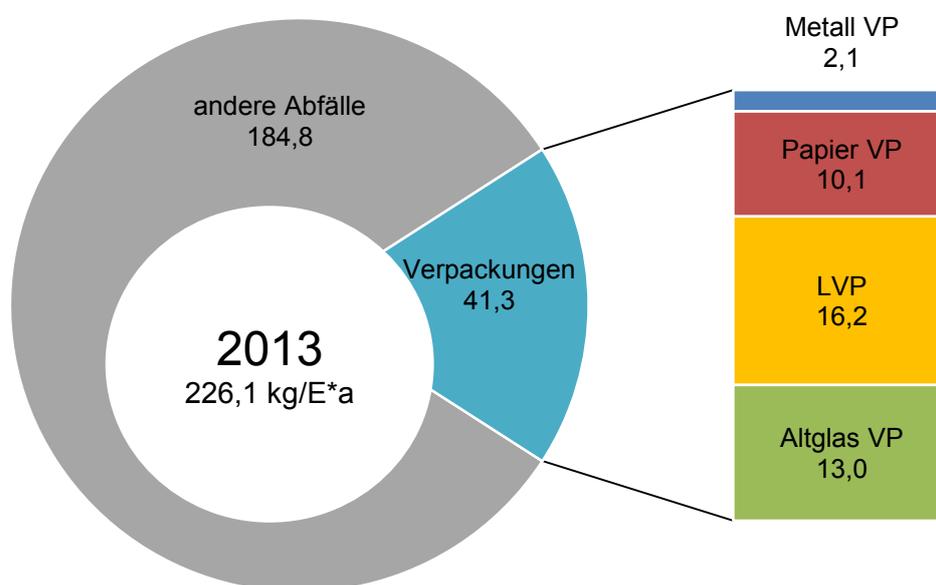


Abb. 21: Zusammensetzung des Restabfalls in der Stadt Hamburg im Jahr 2013 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014)

In Tab. 13 sind die Mengen aus der Restabfallanalyse jenen der getrennten Erfassung gegenübergestellt. Daraus lässt sich das Abfallpotential, sowie die Erfassungsquoten für die einzelnen Abfallfraktionen berechnen. Die höchste Erfassungsquote wird in der Stadt Hamburg für Papierverpackungen mit 84,4 % erreicht. Die Erfassungsquoten für LVP und Glasverpackungen liegen unter 60 %.

Tab. 13: Getrennterfassung von Verpackungsabfällen, Aufkommen im Restabfall, Abfallpotential und Erfassungsquote in der Stadt Hamburg (Eigene Darstellung nach OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015)

	getrennte Erfassung [kg/E*a]	Aufkommen im Restabfall [kg/E*a]	Abfallpotential [kg/E*a]	Erfassungsquote
Metalle VP	7,9	2,1	10,0	79,3%
Papier VP	56,4	10,1	66,5	84,8%
LVP	19,0	16,2	35,2	54,0%
Altglas VP	16,6	13,0	29,6	56,0%
SUMME	99,9	41,3	141,2	70,7%

5.2.5 Karlsruhe

Zur Einleitung sind in Tab. 14 grundlegende Informationen und Daten zum Stadtgebiet Karlsruhe und weiterführend zur Wertstofftonne Karlsruhe angeführt.

Tab. 14: Allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Karlsruhe und zum Sammelsystem der Wertstofftonne Karlsruhe (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ STADT KARLSRUHE AMT FÜR STADTENTWICKLUNG, 2015; ⁽²⁾ KRANERT und SIHLER, 2008; ⁽³⁾ MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2015)

Stadtgebiet Karlsruhe, Baden-Württemberg, Deutschland	
Fläche	173,5 km ² ⁽¹⁾
Angeschlossene Einwohner	316.346 ⁽¹⁾
Einwohner pro km²	1.823 E/km ²
Systemeinführung	Regelbetrieb seit 1989 ⁽²⁾
Abfallsammelsystem haushaltsnah	<ul style="list-style-type: none"> • Wertstofftonne • Biotonne • Papiertonne • Restmülltonne
Wertstofftonne Karlsruhe erfasste Stoffgruppen	<ul style="list-style-type: none"> • LVP • StNVP • Holz
Abfallaufkommen 2014 (Hausmüll, Sperrmüll, getrennt erfasste Fraktionen)	354 kg/E*a ⁽³⁾

Die Einführung der gemischten, trockenen Wertstofftonne in der Stadt Karlsruhe erfolgte im Jahr 1989 (KRANERT und SIHLER, 2008). Über diese wurden bis Ende 2014 folgende Fraktionen erfasst:

- LVP,
- StNVP,
- Holz und
- PPK.

Mit 01.01.2015 wurde eine zusätzliche Papiertonne etabliert, über die nun PPK inkl. Verpackungen aus PPK erfasst werden (STADT KARLSRUHE, 2015).

Tab. 15: Sammelsystem Stadt Karlsruhe (Eigene Darstellung nach STADT KARLSRUHE, 2015)

**Papiertonne****Restmülltonne****Wertstofftonne****Biotonne**

PPK inkl. Verpackungen	u.a. Asche, Kehricht, Keramik, Gummi, benutzte Hygieneartikel, stark verschmutzte Wertstoffe	mit dem Grünen Punkt gekenn- zeichnete Verpackungs- materialien, Kunststoffe, unbehandeltes Holz, Metalle	Speisereste, Gemüseabfälle, Obstschalen, Kaffeefilter, Teebeuteln, usw.
Abfuhrintervall: vier Wochen	Abfuhrintervall: zwei Wochen	Abfuhrintervall: zwei Wochen	Abfuhrintervall: wöchentlich

In Abb. 22 sind die erfassten Wertstoffmengen der Stadt Karlsruhe im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2013 dargestellt. Als Referenzwert, zum Vergleich vor Einführung der Wertstofftonne, ist das Jahr 1987 angeführt. Das Aufkommen an Wertstoffen ist nach AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE (2014) stetig gestiegen und liegt seit dem Jahr 2007 konstant über 35.000 t pro Jahr, bzw. bei etwa 120 kg/E*a. Der kurzzeitige Rückgang der Erfassungsmengen im Jahr 2006 ist auf die Einführung einer Gebühr für die Wertstofftonne rückzuführen. Aufgrund des Rückgangs wurde die Gebühr allerdings wieder abgeschafft, und die Erfassungsmengen stiegen wieder auf ihr ursprüngliches Niveau.

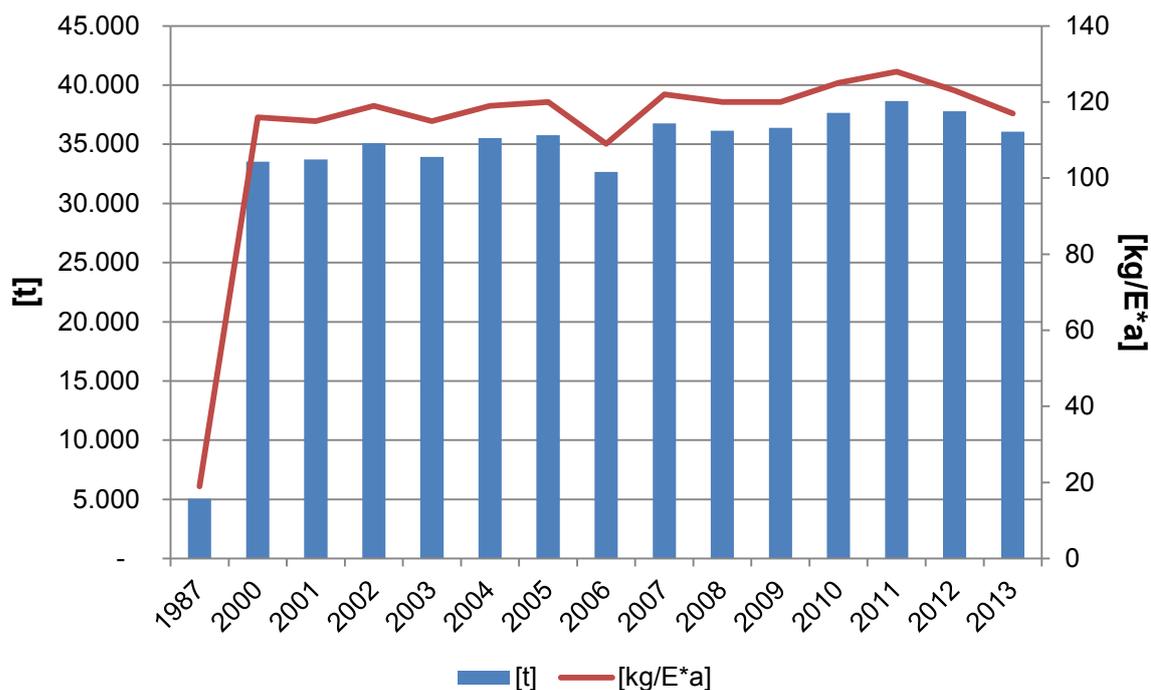


Abb. 22: Wertstoffaufkommen Stadt Karlsruhe [t] und [kg/E*a] (Eigene Darstellung nach AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014)

Die Zusammensetzung der Restabfallmengen für die Stadt Karlsruhe sind in Abb. 23 dargestellt. Daraus lässt sich ablesen, dass in der Restmülltonne 27 kg/E*a an Verpackungen entsorgt werden. Dies entspricht in etwa 22 % der Gesamtmenge. Da die Fraktionen Metallverpackungen und Altglas in der Restmüllanalyse nicht miteinbezogen wurden, scheinen diese Abfallfraktionen in der Grafik nicht auf. Somit können nur Aussagen zu den Anteilen an Papierverpackungen und LVP in der Restmülltonne getroffen werden. Der Verpackungsanteil im Restabfall setzt sich nach AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE (2014) aus 15,7 kg/E*a Papierverpackungen und 11,3 kg/E*a LVP zusammen.

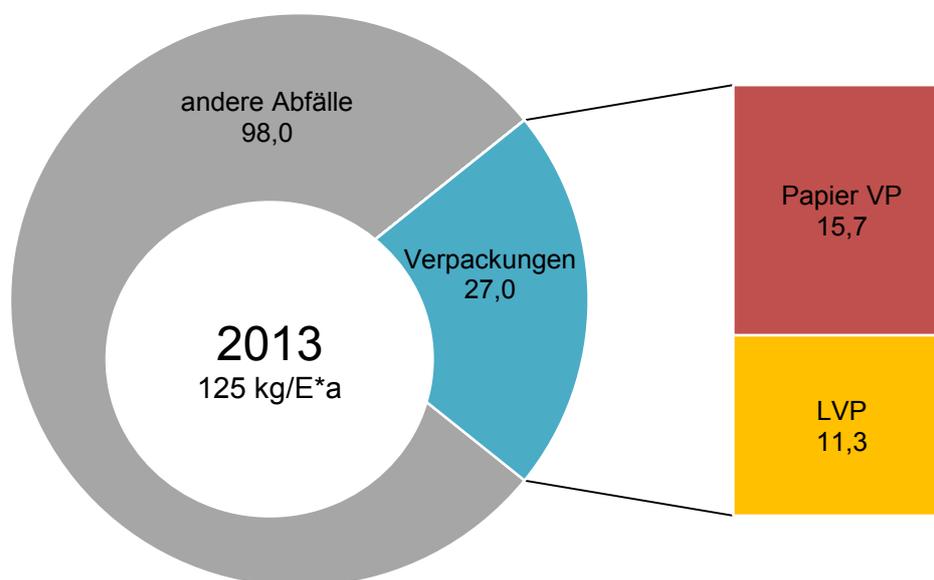


Abb. 23: Zusammensetzung des Restabfalls in der Stadt Karlsruhe im Jahr 2013 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014)

Tab. 16 stellt die getrennt erfassten Verpackungsabfälle jenen Anteilen die über den Restmüll entsorgt werden gegenüber. Die Fraktionen Metallverpackungen und Altglas wurden in der Analyse nicht gesondert erhoben, somit können für diese keine Aussagen zu Abfallpotential und Erfassungsquote getroffen werden. Für Papierverpackungen ergibt sich eine Erfassungsquote von 77 %, für LVP liegt diese bei rund 67 % (AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014).

Tab. 16: Getrennterfassung von Verpackungsabfällen, Aufkommen im Restabfall, Abfallpotential und Erfassungsquote in der Stadt Karlsruhe im Jahr 2013 (Eigene Darstellung nach AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014)

	getrennte Erfassung [kg/E*a]	Aufkommen im Restabfall [kg/E*a]	Abfallpotential [kg/E*a]	Erfassungsquote
Metalle VP	-	-	-	-
Papier VP	52,5	15,7	68,2	77,0%
LVP	23,4	11,3	34,7	67,4%
Altglas VP	-	-	-	-
SUMME	75,9	27,0	102,9	73,8%

5.3 Weitere Beispiele für innovative Sammelsysteme

Ergänzend zu den erläuterten Beispielen für die Umsetzung einer Wertstofftonne, sollen im folgenden Abschnitt weitere Beispiele für innovative Sammelsysteme vorgestellt werden.

5.3.1 Iserlohn

In Iserlohn wurde in unterschiedlichen Projektphasen, siehe Tab. 17, das System „Sack im Behälter“ SiB erprobt. Es ermöglicht die gemeinsame Sammlung und Erfassung von Restabfall und Wertstoffen in einem Behälter, bei gleichzeitiger Getrennthaltung der Fraktionen. Nach IFEU und INFA (2008) ist das System „Sack im Behälter“ SiB durch folgenden charakteristischen Ablauf gekennzeichnet:

- Getrennte Sammlung der verschiedenen Abfall- und Wertstofffraktionen in unterschiedlich farbigen Säcken in den Haushalten
- Gemeinsame, haushaltsnahe Erfassung aller Abfälle und Wertstoffe (Säcke) in einem ausreichend groß dimensionierten Sammelbehälter
- Gemeinsame Abfuhr aller Säcke in einem Sammelfahrzeug
- Transport zur farblichen Vorsortierung der Säcke
- Weiterleitung der Fraktionen zur weiteren Verwertung bzw. Beseitigung.

Tab. 17 liefert einen chronologischen Überblick zum zeitlichen Ablauf des Modellversuchs SiB Iserlohn und listet die einzelnen Projektphasen inklusive ihrer Zielsetzungen auf.

Tab. 17: Projektphasen des Modellversuchs SiB Iserlohn - zeitlicher Ablauf, Ziele, Projektgebiet und -teilnehmer (Eigene Darstellung nach IFEU und INFA, 2008)

Projektphase	Zeitraum	Zielsetzung	Versuchsgebiet, -teilnehmer
Vorversuch	03/2002 – 02/2003	Untersuchung der technischen und organisatorischen Auswirkungen	Wohnpark Buchenwäldchen 1.200
Phase I	01/2007 – 02/2008	Untersuchung technisch-organisatorischer und wirtschaftlicher Auswirkungen	Stadtteil Iserlohn-Letmathe 10.078
Phase II	03/2008 – 02/2009	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation von Kostenreduzierungspotentialen • Untersuchung anlagen-technischer Möglichkeiten der Sacksortierung • Optimierung der Sackverteilung • Untersuchung von Möglichkeiten zur Einschränkung des Missbrauchs der Sammelsäcke 	Stadtteil Iserlohn-Letmathe 1.023

		bzw. Ermittlung des tatsächlichen Sackbedarfs	
Phase III	03/2009 – 12/2009	Untersuchung der Flexibilität des SiB-Systems durch die Miterfassung von Elektrokleingeräten (roter Sack)	Stadtteil Iserlohn-Letmathe 1.023

Bereits 2002 startete in der Stadt Iserlohn ein zweijähriger **Vorversuch** in einem lokal begrenzten Wohnbezirk – „Wohnpark Buchenwäldchen“ – mit ca. 1.200 Projektteilnehmern, für die Fraktionen Restabfall, LVP, Glas und Papier (MROSS, 2008). Das System SiB hat sich, nach IFEU und INFA (2008) im Laufe dieses Projektes sowohl in technischer, als auch in organisatorischer Hinsicht gut bewährt. Dies legte den Grundstein für die Erweiterung des Projektes auf ein größeres, und dadurch repräsentativeres Modellgebiet.

Phase I startete im Jahr 2007 im Stadtteil Iserlohn-Letmathe, mit 10.078 Projektteilnehmern WIECZOREK (2009). In Abb. 24 ist schematisch der prozesshafte Ablauf von der Sammlung in den Haushalten, über die Erfassung und Abfuhr, bis hin zur Sortierung und Verwertung bzw. Beseitigung dargestellt. Hierbei wurde in den Haushalten der Restabfall in grauen Säcken, LVP in gelben und Papier in blauen Säcken gesammelt und in einer gemeinsamen Tonne entsorgt. Nach Abholung der Tonne erfolgt zuerst die farbliche Sortierung der Säcke mit anschließender weiterführender Sortierung, Verwertung bzw. Beseitigung.

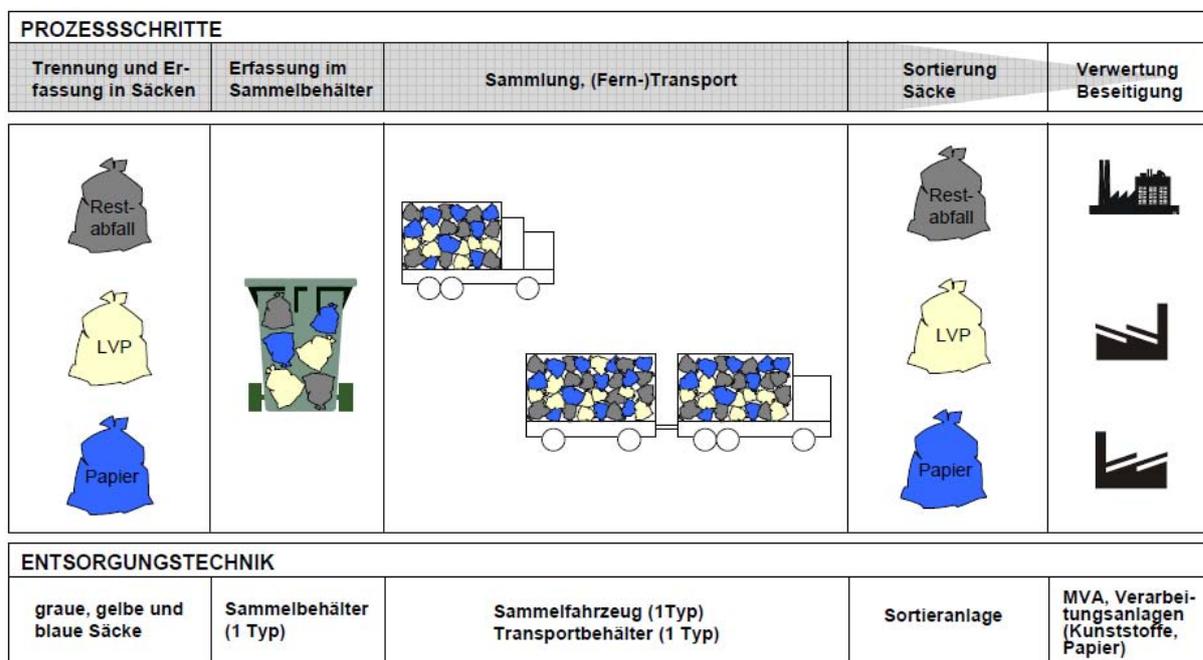


Abb. 24: Prozessschritte System Sack im Behälter (INFA und IFEU, 2009)

Als Ziele dieses Modellversuchs definiert IFEU (2007) folgende Punkte:

- Verbesserte hygienische Verhältnisse durch den wöchentlichen Abfuhrhythmus,

- Verbesserte Platzverhältnisse in den Haushalten durch die Reduktion der Behälteranzahl und
- eine ökonomisch günstigere Entsorgungslogistik.

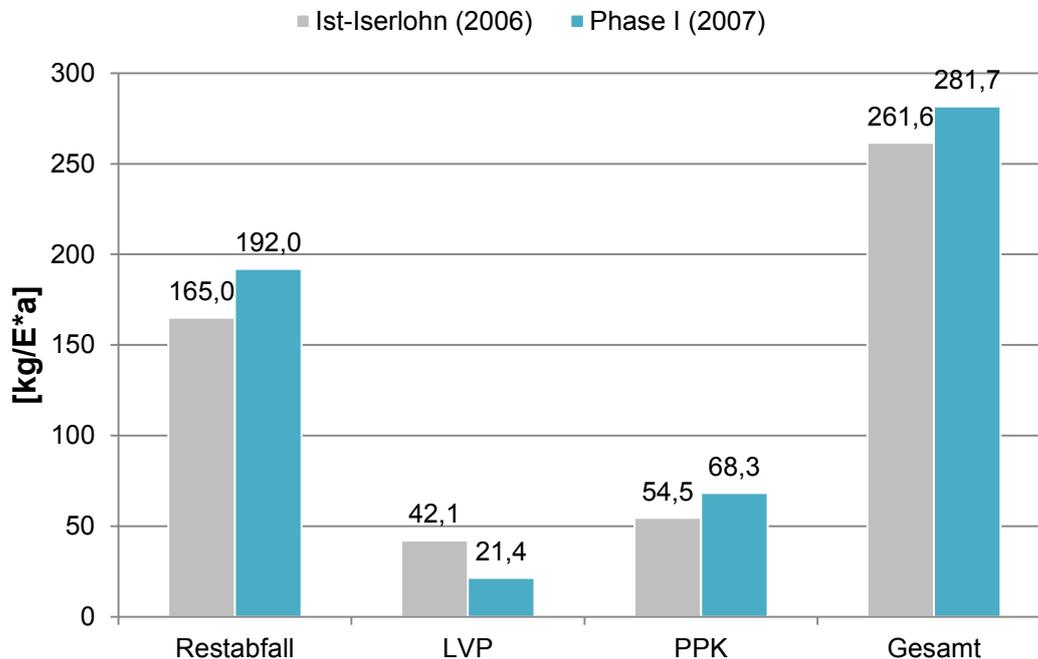


Abb. 25: Vergleich spezifischer Abfallmengen - Restabfall, LVP, PPK, Gesamt - Ist-Iserlohn (2006) und Phase I (2007) (Eigene Darstellung nach INFA und IFEU, 2009)

Eine Gegenüberstellung der spezifischen Abfallmengen nach Phase I (2007) mit den Werten vor Systemumstellung – Ist-Iserlohn (2006) ist in Abb. 25 dargestellt. Der Anstieg der Restabfallmengen und der gleichzeitige Rückgang der LVP-Mengen lässt sich nach INFA und IFEU (2009) durch eine Mengenverschiebung von Restabfall erklären, der 2006 noch als Fehlwürfe über die LVP-Sammlung entsorgt wurde.

Um genauere Aussagen über die LVP-Mengen treffen zu können wurden im Jahr 2007 vier LVP-Analysen durchgeführt. In Abb. 26 sind die Ergebnisse dieser vier Kontrollanalysen den Mengen aus dem Jahr 2006 gegenübergestellt. Hier ist, ebenso wie in der vorangegangenen Abbildung, Abb. 25, der deutliche Rückgang der LVP-Mengen erkennbar. Diese Abnahme von rund 21 kg/E*a resultiert vor allem aus den Rückgängen in den Fraktionen der sonstigen Kunststoffe, der PPK-/Verbunde und der Restabfälle.

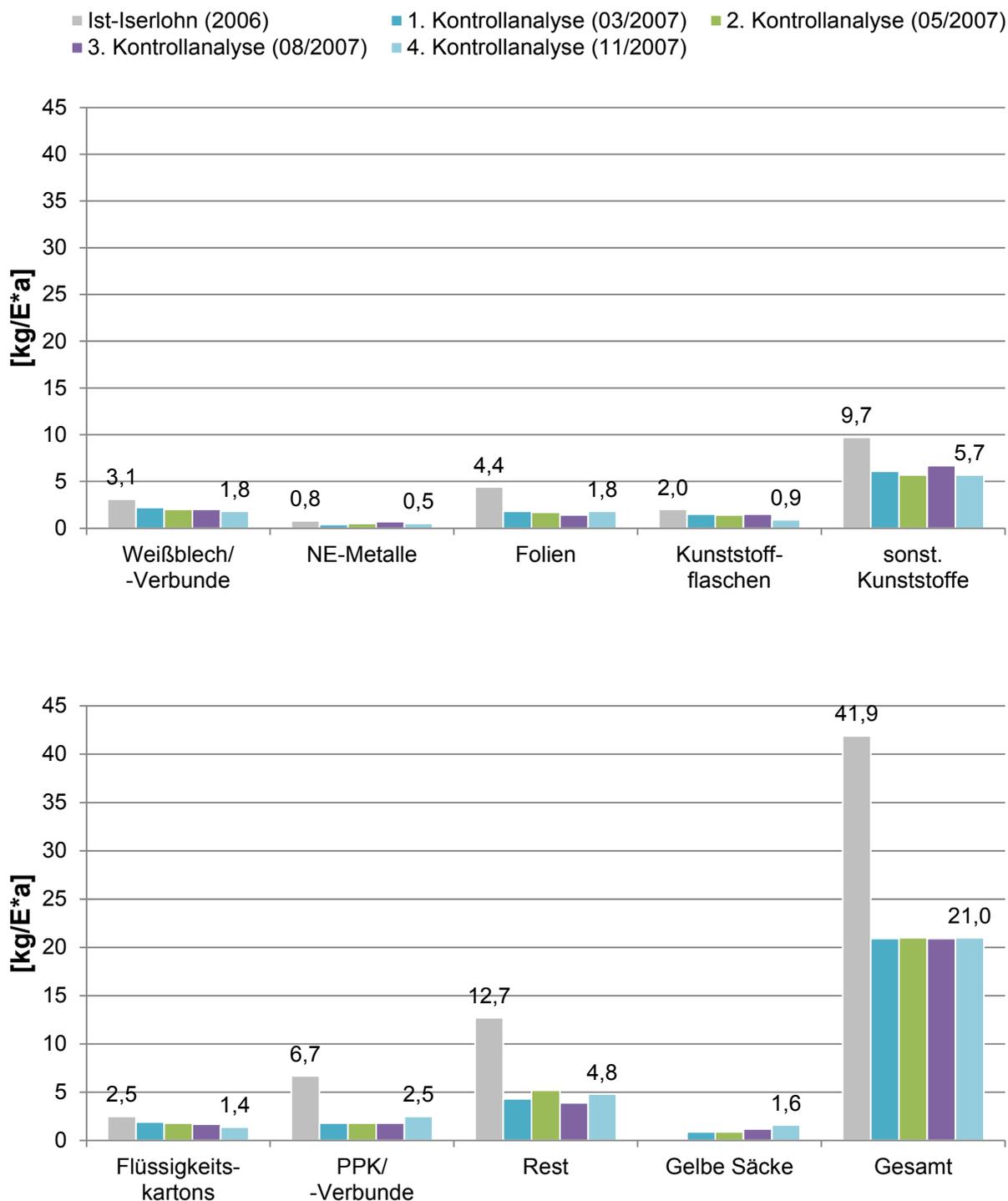


Abb. 26: Ergebnisse der LVP-Analysen im Jahr 2007 (Eigene Darstellung nach INFA und IFEU, 2009)

Zur Identifizierung weiterer Einspar- und Verbesserungspotentiale wurde im Jahr 2008 **Phase II** mit kleinerem Teilnehmerfeld und einer Laufzeit von einem Jahr gestartet, siehe Tab. 17. Der Fokus wurde hierbei auf die Ermittlung des tatsächlichen Sackbedarfs gelegt, um auf Basis dessen Maßnahmen zur Senkung der Verbrauchsmengen und zur Einschränkung des Sackmissbrauchs festzulegen, siehe Tab. 17.

Nach IFEU und INFA (2009) wurden folgende optimierende Veränderungen am System der Sackverteilung vorgenommen:

- Einmalige Verteilung eines Basiskontingents an Säcken
- Bei individuellem Mehrbedarf an Säcken, Möglichkeit zur Nachbestellung über eine Anforderungskarte
- Einrichtung einer externen Stelle zur Sackausgabe für die Selbstabholung der zusätzlichen Säcke

Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen konnte der Verbrauch an Säcken im Vergleich zu Phase I reduziert werden, siehe Abb. 27. Besonders in Bezug auf Restabfall -23,5 % und LVP -33,3 % konnten die Sackmengen deutlich gesenkt werden. Bei PPK fand eine Reduktion um 3,8 % statt (IFEU und INFA, 2010).

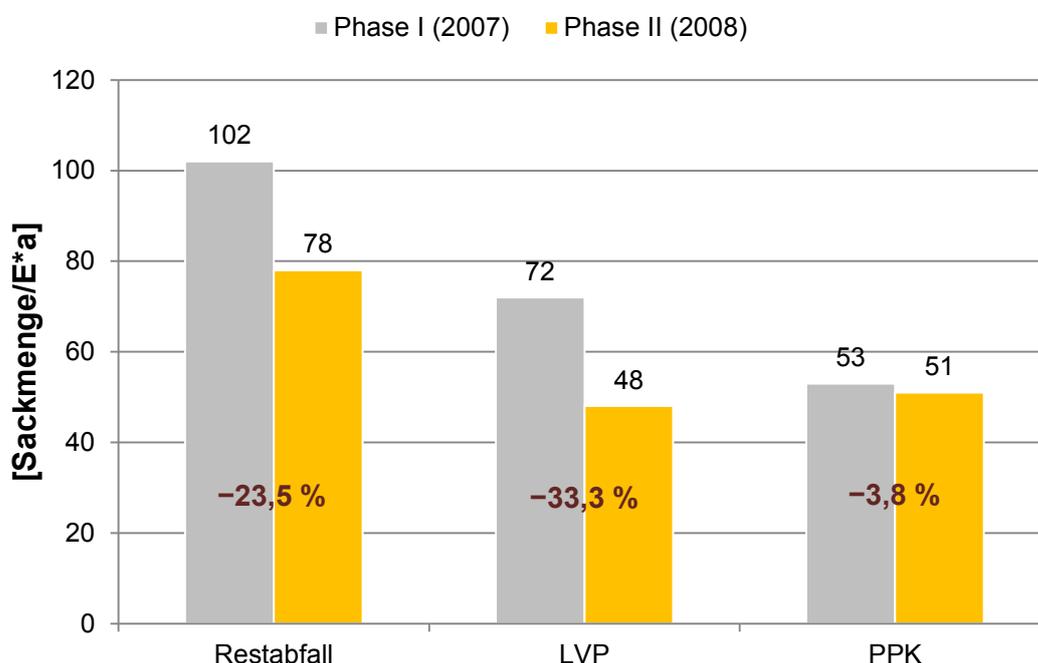


Abb. 27: Gegenüberstellung des Sackverbrauchs Phase I und Phase II (Eigene Darstellung nach IFEU und INFA, 2009)

Nach Abschluss von Phase II wurde der Versuch nochmalig, mit identen Versuchsparametern, verlängert. Im Jahr 2009 wurde **Phase III** des Pilotversuches, mit dem Ziel der Untersuchung der Flexibilität des SiB-Systems durch Hinzunahme einer weiteren Fraktion, der Elektrokleingeräte, initiiert (IFEU und INFA, 2010). Zur Erfassung dieser Fraktion wurde ein zusätzlicher, roter Sack ausgegeben.

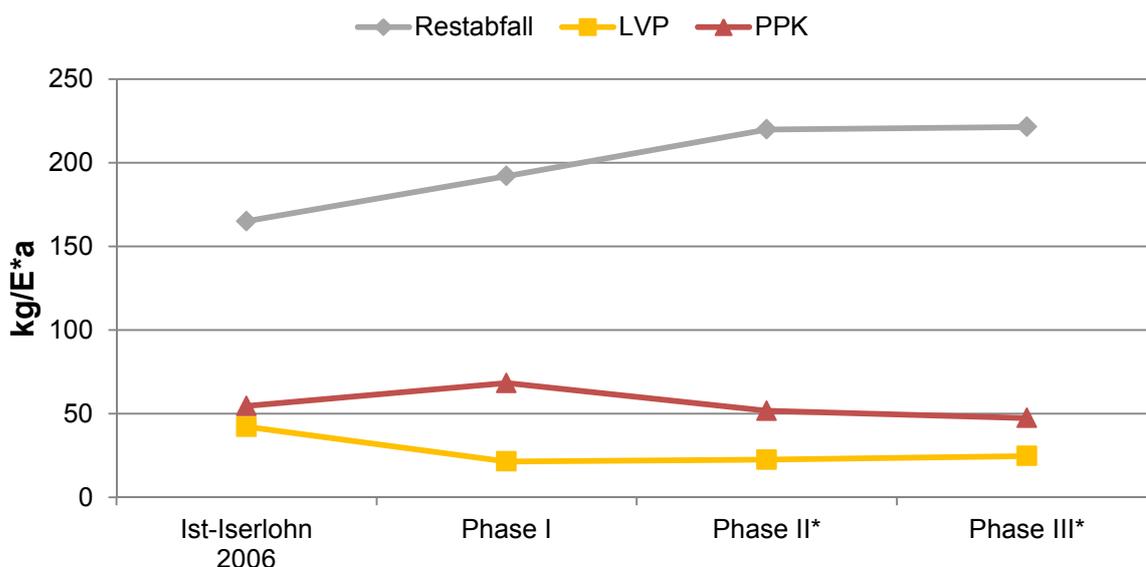
Die Entwicklung der Abfallmengen im Verlauf des Modellversuches SiB-Iserlohn sind in Tab. 18 gelistet und graphisch in Abb. 28 veranschaulicht. Aus diesen Darstellungen sind die Mengenentwicklungen der einzelnen Abfallfraktionen – Restabfall, LVP, PPK – ersichtlich. Für Phase II und Phase III, mit einer Versuchsdauer kürzer als ein Jahr, wurden zur besseren Vergleichbarkeit die Monatsmittelwerte auf ein Jahr hochgerechnet.

Tab. 18: Spezifische Abfallmengen – Restabfall, LVP, PPK, Elektrokleingeräte, Gesamtmenge – aus dem SiB-Modellversuch (Eigene Darstellung nach IFEU und INFA, 2008; IFEU und INFA, 2009; IFEU und INFA, 2010)

Fraktion	Ist-Iserlohn (2006) [kg/E*a]	Phase I (2007) [kg/E*a]	Phase II* (2008) [kg/E*a]	Phase III* (2009) [kg/E*a]
Restabfall	165,0	192,0	219,9	221,4
LVP	42,1	21,4	22,5	24,7
PPK	54,5	68,3	51,7	47,4
Elektroklein- geräte				0,6
Gesamtmenge	261,6	281,7	294,1	294,1

* Versuchsdauer <1 Jahr, Hochrechnung der Monatsmittelwerte

Über die Projektphasen hinweg, ist eine deutliche Abnahme der LVP-Mengen von anfangs 42,1 kg/E*a auf 24,7 kg/E*a zu verzeichnen. Mit dem einher geht ein Anstieg der Restabfallmengen von 165,0 kg/E*a auf 221,4 kg/E*a. Nach EBBING (2015) fand hier eine deutliche Verschiebung von Restabfallmengen aus der LVP-Sammlung in den Bereich der Restabfallfraktion statt. Dies gründete im ausreichend verfügbaren Restabfallvolumen, bedingt durch die unbegrenzte Verfügbarkeit von Restabfallsäcken und dem wöchentlichen Abfuhrintervall der 240 Liter SiB Tonne. Dadurch entfällt der Anreiz von Fehlwürfen des Restabfalls in das LVP-System.



* Versuchsdauer <1 Jahr, Hochrechnung der Monatsmittelwerte

Abb. 28: Spezifische Abfallmengen - Restabfall, LVP, PPK - aus dem SiB-Modellversuch (Eigene Darstellung nach IFEU und INFA, 2008; IFEU und INFA, 2009; IFEU und INFA, 2010)

Der Pilotversuch wurde am 31.12.2009 abgeschlossen und konnte in der Bevölkerung großen Anklang finden. Nach BERS (2009) beurteilten 89 % der Bevölkerung das System SiB besser als das ursprüngliche Abfallsammelsystem.

Im Projektverlauf war eine Effizienzsteigerung der Entsorgungslogistik, von der Behälterbereitstellung über die Sammlung bis hin zum Transport erkennbar. Außerdem konnte durch die strikte Trennung der Fraktionen eine wesentliche Steigerung der Sortenreinheit erreicht werden. Nach EBBING (2015) hat das System SiB folgende Vorteile gegenüber der konventionellen, getrennten Sammlung von Abfällen:

- CO₂-Einsparungen durch prozessoptimierte Logistik von Erfassung, Sammlung und Transport
- Flexibleres Logistiksystem
- Ressourcenschutz durch sortenreine Wertstoffe
- Attraktiveres Wohnumfeld durch reduzierte Behälteranzahl und verminderten Standplatzbedarf
- Gesteigerter Service und Komfort für den Nutzer durch geringere Befüllzeit des Sammelbehälters.

Der Abschlussbericht zum Pilotprojekt zeigte nach LOBBE HOLDING GMBH & CO KG (2008), dass ein Systemwechsel hin zu SiB logistisch und technisch machbar ist.

Trotz all der positiven Projektergebnisse wurde das System SiB nicht weitergeführt bzw. implementiert. Grund hierfür waren nach EBBING (2015) rein rechtliche, organisatorische und vergabetechnische Rahmenbedingungen. Denn in der SiB-Tonne werden Abfälle verschiedener Kostenträger gesammelt. Restabfall und PPK liegen in der Hoheit des öffentlich-rechtlichen Entsorgers – der Kommune, LVP hingegen im Zuständigkeitsbereich der Dualen Systeme (LOBBE HOLDING GMBH & CO KG, 2008). Im Zuge des Projektes konnte für diese vergaberechtlichen Probleme keine Lösung gefunden werden. Nach EBBING (2015) wäre dies aber grundsätzlich über Aufteilungsmodelle machbar.

5.3.2 Kassel

Grund für den Pilotversuch in Kassel zur Einführung eines vereinfachten Zwei-Tonnen-Systems - bestehend aus einer nassen und einer trockenen Tonne - waren nach URBAN und SCHRÖER (2009) zum einen die hohen Fehlwurfquoten im Gelben Sack, das Wertstoff- und Organikpotential im Restmüll und zum anderen auch die rückläufige Akzeptanz der Getrenntsammlung in der Bevölkerung.

Das vorherrschende Sammelsystem wurde demnach durch eine trockene und eine nasse Tonne ersetzt. Nach HALM et al. (2011) waren die Zielsetzungen dieses Projekts:

- Steigerung der Akzeptanz und des Komforts für die Bürger,
- Erhöhung der Sammelquoten,
- Erfassung und Verfügbarmachen von Wertstoffen, die bisher mit dem Restabfall erfasst wurden und
- Steigerung der Sekundärrohstoffgewinnung.

Der Pilotversuch wurde für den Zeitraum von 30.06.2008 bis 31.03.2010 im definierten Versuchsgebiet der Kasseler Südstadt durchgeführt (HALM et al., 2011). Nach URBAN und SCHRÖER (2009) gewährleistet die Kasseler Südstadt als

Versuchsgebiet die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das gesamte Stadtgebiet, da hier alle vier, für Kassel relevanten Gebietsstrukturen, vorherrschend sind. Zum Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Sammelsysteme, wurde zusätzlich zum Versuchsgebiet ein Referenzgebiet definiert, in dem keine Umstellung der Abfallsammlung erfolgt. Insgesamt waren ca. 3.861 Einwohner in 2.191 Haushalten Teil des Projektes.

In Abb. 29 ist das aktuelle Abfallsammelsystem, bestehend aus Restabfalltonne, Biotonne, Gelber Sack, dem System NTT gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, wie sich die erfassten Mengen auf das geplante Sammelsystem verteilen. Der Restabfall wird in eine nasse und eine trockene Fraktion gesplittet, wobei der Bioabfall komplett in der nassen Tonne erfasst wird. Lizenzierte LVP die zuvor über den Gelben Sack erfasst wurden, sollen nun über die Trockene Tonne gesammelt werden.

Durch die Systemumstellung sollen nach HALM et al. (2011) die Wertstoffpotentiale der Restabfalltonne vollständiger erfasst werden. Dies begünstigt eine höhere Wertstoffausbeute in der anschließenden Sortierung und eine Steigerung der Reinheit der Wertstoffe.

Ist-Zustand

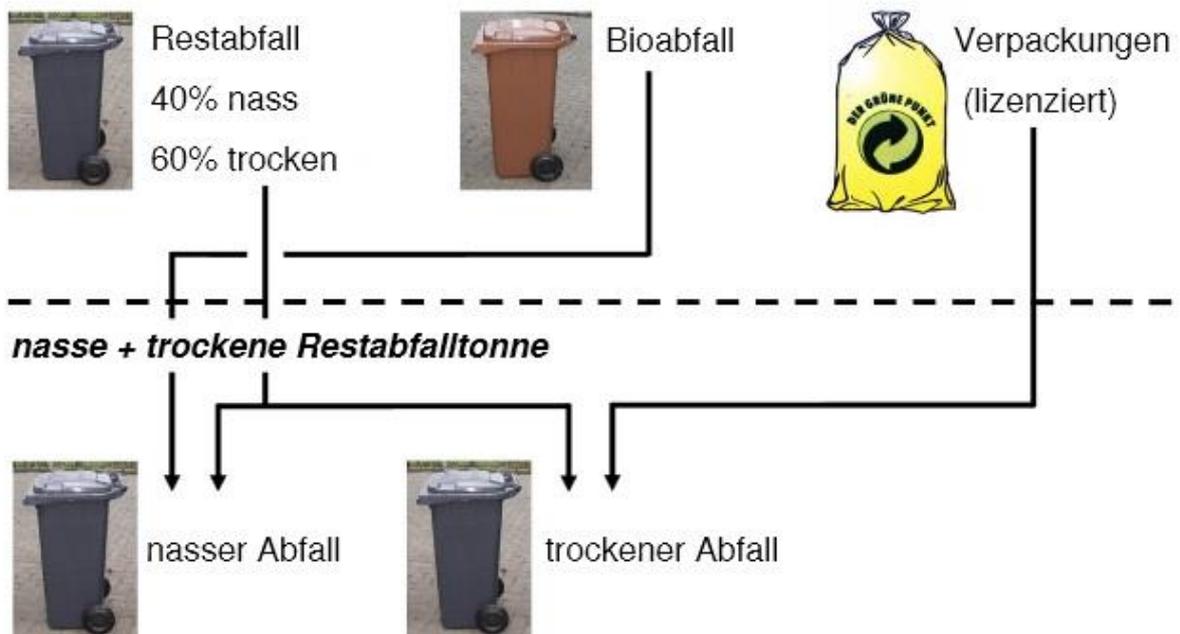


Abb. 29: Systemvergleich - Ist-Zustand und System Nasse und Trockene Tonne Kassel (SCHRÖER, 2007)

In der Trockenen Tonne sollen LVP, StNVP und EEAG erfasst werden (HALM et al., 2011). Als erster Verwertungsschritt, siehe Abb. 30 folgt die Sortierung zur Gewinnung von Wertstoffen und EBS. Die Sortierreste werden im MHKW Kassel thermisch behandelt.

Im Gegensatz dazu, werden in der Nassen Tonne Küchenabfälle, Hygieneartikel, Bioabfall und biologisch abbaubare Verpackungen gesammelt und zur Gewinnung

von Biogas einer weiterführenden Vergärung zugeführt, siehe Abb. 30 (HALM et al., 2011). Die Gärreste werden im MHKW Kassel thermisch behandelt.

Aufgrund von Kritik seitens der Dualen Systeme, musste nach SOMBORN (2010) das ursprünglich geplante System adaptiert werden. Denn die Dualen Systeme forderten auch während der Versuchsdauer, die Gelben Säcke im Versuchsgebiet abzuholen. Somit wurde das Sammelsystem adaptiert und der Gelbe Sack auch für die Dauer des Pilotversuchs beibehalten, obwohl dieser eigentlich überflüssig waren.

Somit wurden LVP, Altglas, PPK, Sperrmüll, Baum- und Heckenschnitt/Grünabfuhr und Altkleider während des Versuches weiterhin separat erfasst.



Abb. 30: Verwertungswege der nassen und trockenen Abfälle (SCHRÖER, 2007)

Nach URBAN und LÖHLE (2011) konnte durch den Praxisversuch die technische und logistische Machbarkeit bzw. Umsetzbarkeit des Systems NTT bewiesen werden. Die im Zuge des Projekts durchgeführten Sortieranalysen hatten zum Ergebnis, dass der Inhalt der Nassen Tonne eine Fehlwurfquote von 15 % aufwies. Im Gegensatz dazu lag die Fehlwurfquote der Trockenen Tonne im Durchschnitt der fünf Sortieranalysen bei 50 %. Hierbei setzen sich die Fehlwürfe vor allem aus Glas, Altkleidern, PPK und biogenen Abfällen zusammen. URBAN und LÖHLE (2011) begründen die Fehlwürfe - Glas, Altkleider, PPK - mit einer falschen Einschätzung dieser Fraktionen als trocken, wobei diese über die bestehenden separaten Erfassungssysteme zu entsorgen waren.

Die Ergebnisse der Sortieranalysen zeigten, dass die Sortierqualität stark mit der Gebietsstruktur korreliert, wobei je niedriger die Bebauungsdichte desto besser die Trennqualität (URBAN und LÖHLE, 2011).

Um eine Aussage über den Erfolg bzw. Misserfolg des Pilotversuchs treffen zu können, wurde abschließend ein Vergleich der Ergebnisse aus dem Versuchsgebiet und dem Referenzgebiet vorgenommen. Um das IST-System dem System NTT gegenüberstellen zu können wurden ökonomische und ökologische Bewertungen vorgenommen.

Zur ökologischen Bewertung des Praxisversuchs wurden die in den einzelnen Entsorgungsprozessen emittierten CO₂-Mengen bilanziert. Bei der Bilanzierung der CO₂-Emissionen wurden nach URBAN und LÖHLE (2011) folgende Bereiche herangezogen:

- Abfallsammlung im Stadtgebiet,
- Transportkosten (ermittelt für eine mittlere Transportentfernung von 50 und 200 km),
- anlagenbedingte CO₂-Emissionen bzw. Energieaufwand,
- CO₂-Gutschriften aus Stromerzeugung bei thermischer Behandlung (u.a. Restabfall, Sortierreste), energetischer Verwertung (heizwertreiche Fraktion, EBS) und Vergärung (Biogas),
- CO₂-Gutschriften aus stofflicher Verwertung (u.a. Kunststoffe, Metall).

Die ökologische Gegenüberstellung der beiden Systeme fällt nach URBAN und LÖHLE (2011) deutlich zugunsten des Systems NTT aus. Dies gründet vor allem in den hohen Energieeinspareffekten bei der stofflichen Verwertung und der Substitution fossiler Energieträger durch Biogas bzw. EBS. Zusätzlich steigt durch Systemumstellung die Erfassungsmenge an Wertstoffen die einer Verwertung zugeführt werden.

Im Zuge der ökonomischen Systembewertung wurde eine vergleichende Kostenbetrachtung unter Einbezug folgender Bereiche vorgenommen:

- Abfallsammlung im Stadtgebiet,
- Transportkosten zu Umladestationen bzw. Entsorgungsanlagen,
- Abfallumschlag und Nachweisführung,
- Kosten für die Annahme von Abfallfraktionen an den Behandlungsanlagen (URBAN und SCHRÖER, 2009; URBAN und LÖHLE, 2011).

Der ökonomische Vergleich zeigte, dass das Ist-System die kostengünstigere Variante darstellt.

Trotz durchweg positivem Ergebnis des Pilotversuchs wurde das System NTT nicht flächendeckend umgesetzt. Grund hierfür sind vor allem vergaberechtliche Probleme, die auch schon während der Versuchsdauer zu Diskussionen mit den Dualen Systemen führten (SOMBORN, 2010).

Aktuell gestaltet sich die Abfallsammlung in Kassel nach DIE STADTREINIGER KASSEL (2010) folgendermaßen:

- Restmülltonne Grau
- Biotonne Braun
- Gelber Sack: alle Verpackungen die den grünen Punkt haben (außer Glas und Pappe)
- Glas und Papier: separat Container-Sammlung.

5.4 Vergleich ausgewählter Modellversuche

In Tab. 19 sind die oben genannten Umsetzungsbeispiele, in denen sich die Wertstofftonne im Regelbetrieb befindet, nochmals gesammelt gegenübergestellt. Daraus sind zum einen grundlegende Daten wie die Gesamtfläche des Bezirks bzw. der Stadt und deren Einwohnerzahlen abzulesen. Zum anderen lassen sich daraus, beim Vergleich der Einwohner pro km², auch Rückschlüsse in Bezug auf die Siedlungsstruktur vornehmen. Dementsprechend weist, von den fünf ausgewählten Beispielregionen, der Bezirk Neunkirchen mit 75 E/km² die geringste Siedlungsdichte auf. Das am dichtesten besiedelte Gebiet mit 3.891 E/km² ist die Stadt Berlin, gefolgt von der Stadt Hamburg mit 2.334 E/km². Ganzheitlich betrachtet, handelt es sich beim Großteil der betrachteten Beispielregionen für die Umsetzung der Wertstofftonne, eher um städtische Gebiete. Einzig der Bezirk Neunkirchen weist ländliche Gebietsstrukturen auf.

Bezugnehmend auf die umgesetzten Systeme, sind aus Tab. 19 unterschiedlich lange Regelbetriebszeiten abzulesen. Den längsten bestehenden Regelbetrieb für ein System der Wertstofftonne stellt die Grüne Tonne im Bezirk Neunkirchen, mit fast 30 jährigem Bestehen dar. Ein weiteres System, das bereits 1989 in den Regelbetrieb übergegangen ist, findet sich in der Stadt Karlsruhe. Die übrigen drei Systemansätze – Leipzig, Berlin und Hamburg – wurden erst deutlich später initiiert. Ein weiterer Punkt, der mit der Systemeinführung in Zusammenhang steht, ist die Durchführung von Pilotversuchen. Die beiden, bereits in den 80er Jahren umgesetzten Projekte in Neunkirchen und Karlsruhe, wurden ohne vorherigen Pilotversuch bzw. ohne vorangegangene Testung des Systems, direkt in den Regelbetrieb umgesetzt. Anders stellt sich die Situation bei den aktuelleren Projekten dar. Denn in allen drei Fällen wurde das System vor Einführung im Zuge eines Pilotversuchs getestet, um so die tatsächliche Wirkung und Umsetzbarkeit, noch vor stadtweiter Einführung beurteilen zu können.

Die haushaltsnahe Abfallsammlung im Hol-System gestaltet sich in allen fünf betrachteten Beispielen ziemlich ident. Zusätzlich zu der Wertstofftonne stehen den Haushalten eine Bio- und eine Restmülltonne zur Verfügung. In drei der betrachteten Gebiete – Leipzig, Hamburg und Karlsruhe – ist eine zusätzliche Tonne zur Sammlung von PPK vorhanden.

Bezugnehmend auf die mengenmäßige Betrachtung des haushaltsnahen Abfallaufkommens weisen die betrachteten Beispielregionen eine Spannweite von rund 316-409 kg/E*a auf.

Um den tatsächlichen mengenmäßigen Effekt der Wertstofftonnen-Systeme beurteilen zu können, sind in Tab. 19 die Sammelmengen vor und nach Systemumstellung gegenübergestellt. Für die Beispiele Neunkirchen und Karlsruhe konnten, aufgrund der relativ lange zurückliegenden Einführung, keine Vergleichsdaten herangezogen werden. Deshalb erfolgt dieser Vergleich nur für die drei restlichen Projekte – Leipzig, Berlin und Hamburg. Hier ließen sich, durch die Systemumstellung in jeder Region Zuwächse der Sammelmengen verzeichnen. Diese bewegen sich in einer Spannbreite von 3,9-7,2 kg/E*a.

Tab. 19: Gegenüberstellung der betrachteten Modellversuche (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, s.a.; ⁽²⁾ STATISTIK AUSTRIA, 2015; ⁽³⁾ REINHALTERVERBAND GRÜNE TONNE GMBH, 2007; ⁽⁴⁾ TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; ⁽⁵⁾ TECHNISCHES BÜRO HAUER

UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; ⁽⁶⁾ STADT LEIPZIG AMT FÜR STATISTIK UND WAHLEN, 2014; ⁽⁷⁾ STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN, 2015; ⁽⁸⁾ OETJEN-DEHNE, 2009; ⁽⁹⁾ STADTREINIGUNG LEIPZIG, 2015a; ⁽¹⁰⁾ LANGEN et al., 2008; ⁽¹¹⁾ AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2015; ⁽¹²⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN et al., 2014; ⁽¹³⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; ⁽¹⁴⁾ STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2015b; ⁽¹⁵⁾ STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2015a; ⁽¹⁶⁾ SIECHAU, 2011; ⁽¹⁷⁾ STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015c; ⁽¹⁸⁾ STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; ⁽¹⁹⁾ STADT KARLSRUHE AMT FÜR STADTENTWICKLUNG, 2015; ⁽²⁰⁾ KRANERT und SIHLER, 2008; ⁽²¹⁾ MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2015; ⁽²²⁾ ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEB DES LANDKREISES KARLSRUHE, 2014)

	Neunkirchen	Leipzig	Berlin	Hamburg	Karlsruhe
Fläche	1.150 km ² ⁽¹⁾	297,4 km ² ⁽⁶⁾	891,7 km ² ⁽¹¹⁾	755,2 km ² ⁽¹⁴⁾	173,5 km ² ⁽¹⁹⁾
Angeschlossene Einwohner	85.745 ⁽²⁾	546.451 ⁽⁷⁾	3.469.800 ⁽¹¹⁾	1.762.791 ⁽¹⁵⁾	316.346 ⁽¹⁹⁾
Einwohner pro km²	75 E/km ²	1.837 E/km ²	3.891 E/km ²	2.334 E/km ²	1.823 E/km ²
System-einführung	Regelbetrieb seit 1986 ⁽³⁾	Regelbetrieb seit 2007 ⁽⁸⁾ Pilotversuch ab 2004	Regelbetrieb seit 2013 ⁽¹²⁾ Pilotversuche: • Gelbe Tonne ^{plus} ab 2004 • Orange Box ab 2009	Regelbetrieb seit 2011 ⁽¹⁶⁾ Pilotversuche ab 2006	Regelbetrieb seit 1989 ⁽²⁰⁾
Abfallsammel-system haushaltsnah	• Grüne Tonne • Graue Tonne • Bio Tonne	• Gelbe Tonne ^{plus} • Blaue Tonne • Biotonne • Restabfalltonne	• Wertstofftonne • Biogut-Tonne • Hausmüll-Tonne	• Wertstofftonne • Biotonne • Papiertonne • Restmülltonne	• Wertstofftonne • Biotonne • Papiertonne • Restmülltonne
Erfasste Stoffgruppen	• LVP • SINVP • EKG • Glas • PPK • Holz	• LVP • SINVP • EKG	• LVP • StNVP	• LVP • StNVP	• LVP • SINVP • Holz • PPK (bis 2015)
Abfallaufkommen (haushaltsnah)	316,1 kg/E*a ⁽⁴⁾	362 kg/E*a ⁽⁹⁾	394,7 kg/E*a ⁽¹³⁾	408,8 kg/E*a ⁽¹⁷⁾	354 kg/E*a ⁽²¹⁾
Sammel-mengen vor System-umstellung		28,0 kg/E*a ⁽¹⁰⁾	15,6 kg/E*a ⁽¹⁰⁾	15,5 kg/E*a ⁽¹⁸⁾	
nach System-umstellung	172,6 kg/E*a ⁽⁵⁾	34,8 kg/E*a ⁽¹⁰⁾	22,8 kg/E*a ⁽¹⁰⁾	19,4 kg/E*a ⁽¹⁸⁾	181 kg/E*a ⁽²²⁾
Zuwachs		6,8 kg/E*a ⁽¹⁰⁾	7,2 kg/E*a ⁽¹⁰⁾	3,9 kg/E*a ⁽¹⁸⁾	

Wie bereits erwähnt konnten für die Projekte der Grüne Tonne Neunkirchen und der Wertstofftonne Karlsruhe keine Vergleichsdaten vor Systemumstellung eruiert werden. Aus diesem Grund werden diese beiden Projekte bei der nachfolgenden Gegenüberstellung außen vor gelassen und der Fokus auf die verbleibenden Projekte – Leipzig, Berlin und Hamburg gelegt.

Bezugnehmend auf die erfassten Stoffgruppen, werden in allen drei Projekten die Fraktionen LVP und StNVP in der Wertstofftonne erfasst. Zusätzlich dazu werden in der Gelbe Tonne^{plus} Leipzig Elektrokleingeräte miterfasst.

5.4.1 Sammelmengen vor und nach Systemumstellung

In Abb. 31 sind die Sammelmengen vor und nach Systemumstellung für die Beispielregionen Leipzig, Berlin und Hamburg gegenübergestellt. Es sind jeweils die Mengen der LVP-Sammlung vor Systemumstellung und die Mengen nach Einführung der Gelbe Tonne^{plus} bzw. der Wertstofftonne dargestellt. In allen drei Städten waren durch die Systemumstellung Zuwächse in den Sammelmengen zu verzeichnen. Der größte Zuwachs zeigte sich in der Stadt Berlin mit 7,2 kg/E*a, welche nach Systemumstellung mehr erfasst werden konnten. In Leipzig belief sich die Zunahme nach Umstellung auf das System Gelbe Tonne^{plus} auf 6,8 kg/E*a. In der Stadt Hamburg konnte durch die Einführung der Hamburger Wertstofftonne eine zusätzliche Menge von 3,9 kg/E*a erfasst werden.

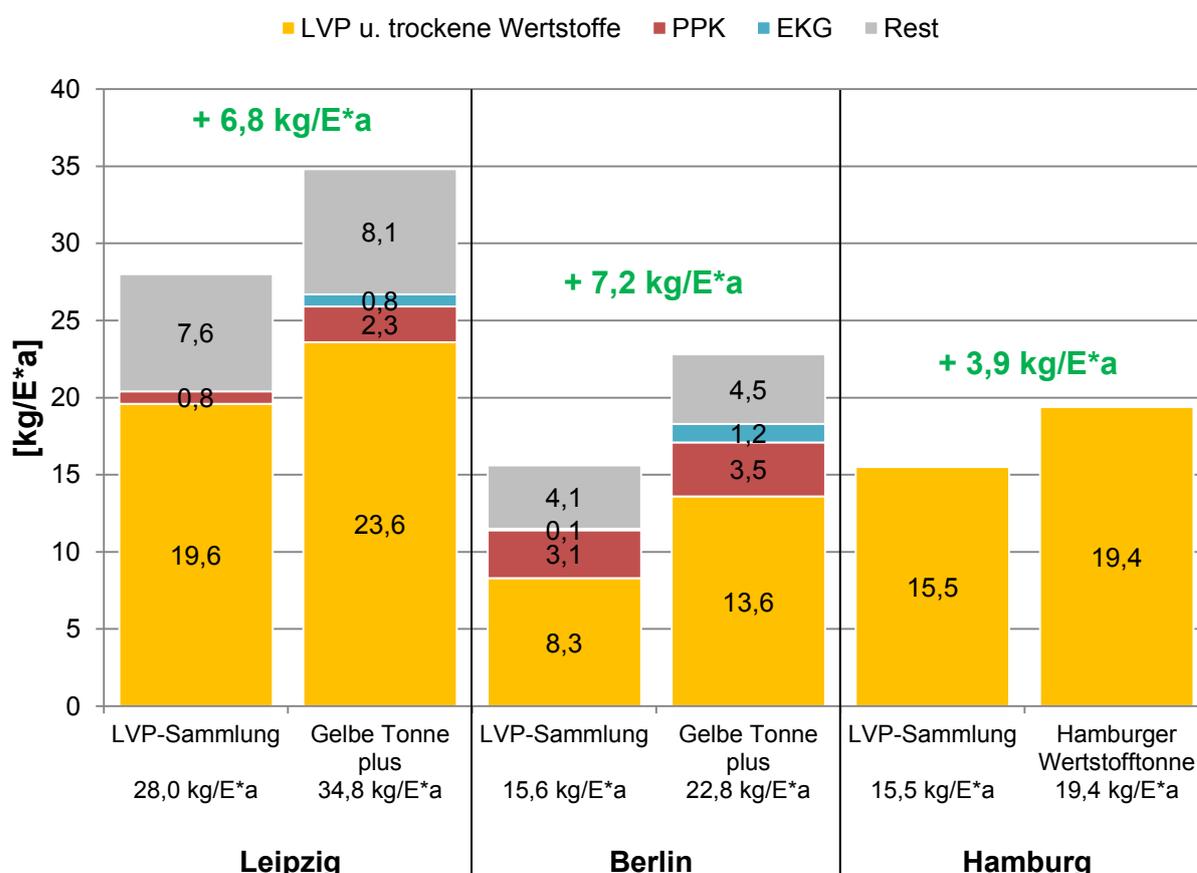


Abb. 31: Gegenüberstellung der Sammelmengen der LVP-Sammlung vor und nach Systemumstellung für die Beispielregionen Leipzig, Berlin und Hamburg (Eigene Darstellung nach LANGEN et

al., 2008; STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2013; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015)

Ergänzend zur Darstellung der Entwicklung der LVP-Sammelmengen, sind in Abb. 32 die Restabfallmengen vor und nach Systemumstellung für die Städte Leipzig, Berlin und Hamburg gegenübergestellt. Sowohl in Leipzig, als auch in Berlin sind die Restabfallmengen nach Einführung der Gelbe Tonne^{plus} bzw. der Wertstofftonne geringer als vor Systemumstellung. In der Stadt Leipzig sind die aktuellen Restabfallmengen 2014 im Vergleich zum Jahr 2003 um rund 20 kg/E*a geringer, in der Stadt Berlin beträgt die Abnahme im Vergleich 2013 zu 2003 sogar rund 28 kg/E*a. In der mengenmäßigen Gegenüberstellung der Restabfallmengen für die Jahre 2014 und 2003 für Hamburg zeichnet sich eine Zunahme der Restabfallmengen um rund 21 kg/E*a ab. Die Einflussfaktoren für diese mengenmäßige Zunahme der Restabfallmengen in Hamburg wurden nicht weiter untersucht, da dies außerhalb des Umfangs der vorliegenden Arbeit liegt.

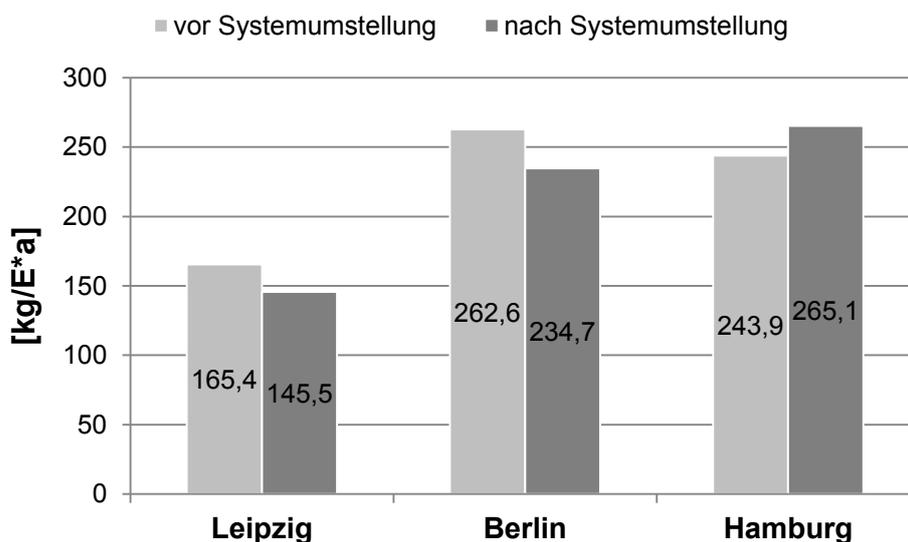


Abb. 32: Entwicklung der Restabfallmengen vor und nach Systemumstellung für die Beispielregionen Leipzig, Berlin und Hamburg (Eigene Darstellung nach ZAW, 2004, 2015; SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2004, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2004, 2015)

Grundsätzlich ist aus Abb. 32 ablesbar, dass die Restabfallmengen in Berlin und Hamburg deutlich über jenen der Stadt Leipzig liegen. Auch im Vergleich des Restabfallaufkommens der deutschen Bundesländer weisen die Stadtstaaten Berlin und Hamburg nach SCHLITTE und SCHULZE (2014) die größten spezifischen Mengen an Restmüll auf.

Dies lässt sich vor allem auf die Siedlungsstruktur zurückführen, denn Hamburg und Berlin sind Städte mit hoher Bevölkerungsdichte, siehe Tab. 19. Zusätzlich trägt nach HALLER (2012) auch der hohe Anteil an Single-Haushalten bzw. kleineren Haushalten zum höheren Restabfallaufkommen bei.

Ein weiterer Faktor, welcher zu höheren Restmüllmengen in dicht besiedelten Gebieten führen kann, ist nach SCHLITTE und SCHULZE (2014) die geringere Bereitschaft zur Abfalltrennung bedingt durch das knappere Flächenangebot für Abfallbehälter und die fehlende soziale Kontrolle.

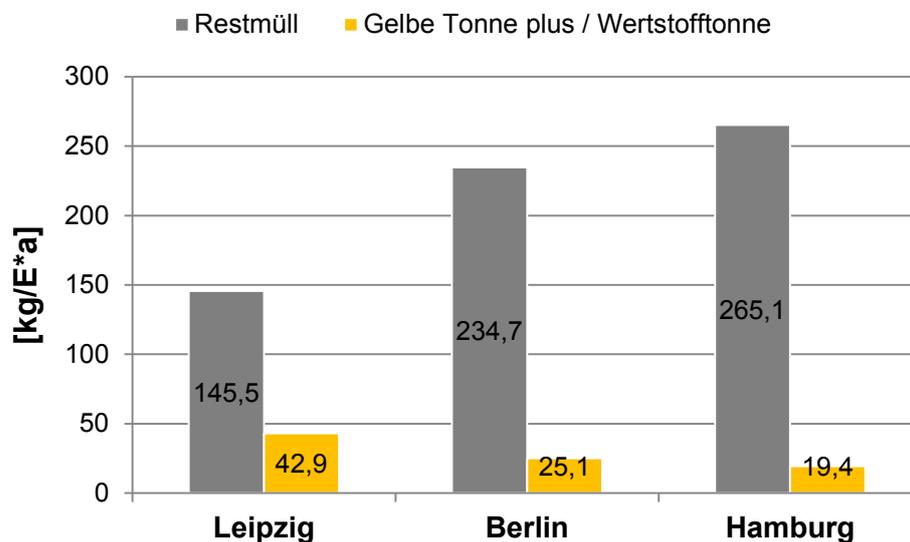


Abb. 33: Gegenüberstellung der Restabfallmengen und der Mengen aus der Gelbe Tonne^{plus}/Wertstofftonne für die Städte Leipzig, Berlin und Hamburg (Eigene Darstellung nach ZAW, 2015; STADTREINIGUNG LEIPZIG, 2015b; SENATSVORWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015)

Die Gegenüberstellung der Restabfallmengen und der über die Gelbe Tonne^{plus} bzw. die Wertstofftonne erfassten Mengen ist in Abb. 33 dargestellt. Daraus lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Aufkommen an Restabfall und der über die Wertstofftonne erfassten Mengen erkennen. Denn in der Stadt Leipzig fallen, mit den geringsten Restmüllmengen, die im Vergleich größten Mengen in der Gelbe Tonne^{plus} an. Im Vergleich dazu weist die Stadt Hamburg die höchsten Restmüllmengen, mit den geringsten Erfassungsmengen in der Wertstofftonne auf. Somit lässt sich für die hier ausgewählten Beispiele festhalten, dass ein erhöhtes Restmüllaufkommen tendenziell mit geringen Mengen an über die Wertstofftonne erfassten LVP einhergeht.

Die Frage nach dem Grund für die mengenmäßigen Unterschiede, bezogen auf das Aufkommen an Restmüll und den Mengen aus der Wertstofftonne, geht über den Umfang der vorliegenden Arbeit hinaus und wird somit nicht beantwortet.

5.4.2 Abfallpotential und Erfassungsquoten

Ein weiterer Ansatzpunkt zum Vergleich der ausgewählten Umsetzungsbeispiele für die Wertstofftonne, sind das Abfallpotential und die Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle. Bei der Berechnung der Erfassungsquote werden nach SHC (2013) die getrennt erfassten Abfallfraktionen jenen noch im Restabfall vorhandenen gegenübergestellt. Dadurch kann eine Beurteilung für das vorherrschende Niveau der Wertstofffassung getroffen werden.

In den folgenden Abbildungen, sind je nach Abfallfraktion, die Erfassungsquoten für die einzelnen Regionen gegenübergestellt. Als Vergleichsregionen zur Generierung von Referenzwerten, wurden die Erfassungsquoten für die österreichischen Bundesländer Niederösterreich und Niederösterreich herangezogen, sowie jene für Gesamt Deutschland. In Niederösterreich wird eine umfassende LVP-Sammlung praktiziert, wohingegen in Wien eine reine Hohlkörpersammlung umgesetzt wurde.

Die Referenzwerte für Deutschland entstammen einer Studie von GELLENBECK et al. (2014), in welcher zur Berücksichtigung der Siedlungsstruktur eine Differenzierung nach der Einwohnerdichte [E/km^2] vorgenommen wurde. Für den gegenständlichen Vergleich wurde der Cluster $>2.000 E/km^2$ herangezogen, da die ausgewählten deutschen Beispielregionen – Leipzig, Berlin, Hamburg, Karlsruhe – im Durchschnitt rund $2471 E/km^2$ aufweisen.

In Abb. 34 sind die Erfassungsquoten für die ausgewählten Beispiel- und Referenzregionen für Metallverpackungen dargestellt. Für die Städte Berlin, Karlsruhe und Düsseldorf standen in Bezug auf Metallverpackungen keine Daten zur Verfügung. Die höchste Erfassungsquote wird hier mit rund 96 % im Bezirk Neunkirchen erreicht. Für die Beispielregionen zur Umsetzung der Wertstofftonne befinden sich die Erfassungsquoten innerhalb einer Schwankungsbreite von rund 70-96 %. Demgegenüber steht der Schwankungsbereich der Referenzregionen mit rund 26-63 %. Somit liegen die Erfassungsquoten für Metallverpackungen in den Regionen mit Wertstofftonne im Vergleich über jenen der Gebiete ohne Wertstofftonne.

Werden für die Vergleichswerte der Stadt Wien auch die Mengen aus der Metallabscheidung aus MVA-Schlacke miteinbezogen, so können hier Erfassungsquoten von bis zu 98 % erreicht werden. Der tatsächliche Anteil an Metallverpackungen, welcher aus der MVA-Schlacke abgeschieden wird, konnte aus den vorliegenden Daten nicht eruiert werden.

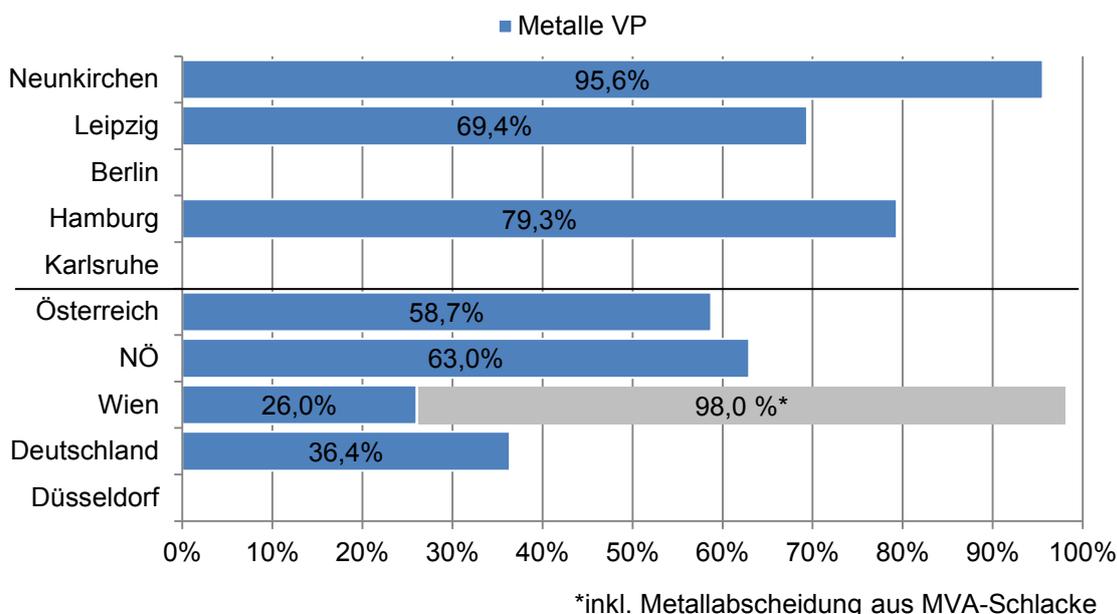


Abb. 34: Vergleich der Erfassungsquoten für Metalle VP für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR

STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014)

Die Betrachtung der Erfassungsquoten für Papierverpackungen liefert folgendes Ergebnis, siehe Abb. 35. Die Modellregionen der Wertstofftonne bewegen sich hier im Bereich von 69,8-97,2 %, dies entspricht einem Mittelwert von rund 85 %. Demgegenüber stehen die Referenzwerte, welche eine Spannweite von 71,2-94,8 % und einen Mittelwert von rund 80 % aufweisen. Somit liegen die Erfassungsquoten für Papierverpackungen in den Regionen Neunkirchen, Leipzig und Hamburg über dem Referenzmittelwert von 80 %.

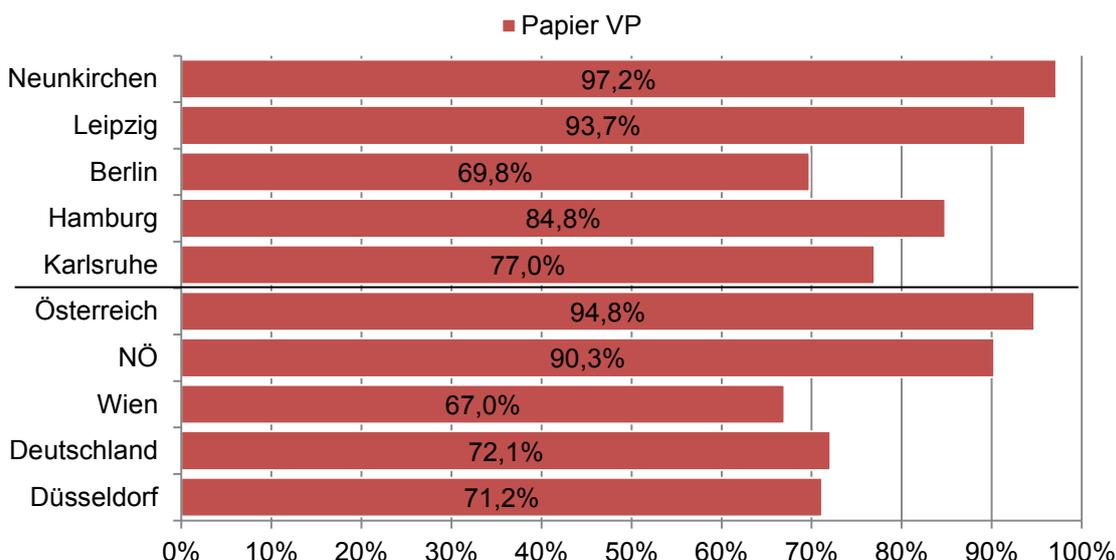


Abb. 35: Vergleich der Erfassungsquoten für Papier VP für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSV ERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013)

In Abb. 36 sind die Erfassungsquoten für LVP gegenübergestellt. Hierbei angemerkt sei, dass in Wien eine reine Hohlkörpersammlung umgesetzt wurde und sich somit die angegebene Erfassungsquote von 22,0 % auf die Fraktionen HDPE und PET bezieht.

Die geringste Erfassungsquote der Modellregionen weist die Stadt Berlin, mit 47,3 % auf, die höchste Quote wurde im Bezirk Neunkirchen mit 93,4 % erreicht. Im Mittel betrachtet ergibt dies für die Modellregionen einen Wert von rund 70 %. Der Referenzmittelwert dazu beläuft sich auf rund 47 %, womit die Erfassungsquoten in Regionen mit Wertstofftonne im Mittel deutlich über jenen der Referenzgebiete liegen.

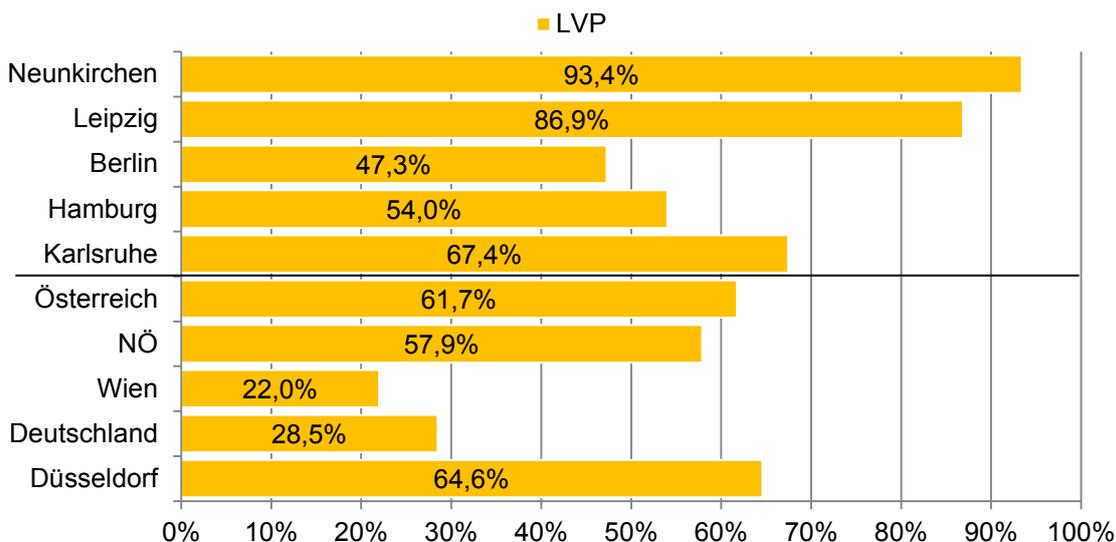


Abb. 36: Vergleich der Erfassungsquoten für LVP für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013)

Abb. 37 zeigt die Erfassungsquoten für Glasverpackungen. Auch hier konnten für die Stadt Karlsruhe keine Vergleichsdaten gewonnen werden. Die höchste Erfassungsquote für Glasverpackungen wird im Bezirk Neunkirchen mit 96,0 % erreicht. Der Mittelwert für die Regionen mit Wertstofftonne beläuft sich auf rund 71 % demgegenüber stehen die Referenzregionen mit rund 70 %. Somit fällt der Unterschied zwischen Regionen mit Wertstofftonne und jenen ohne für Glasverpackungen am geringsten aus.

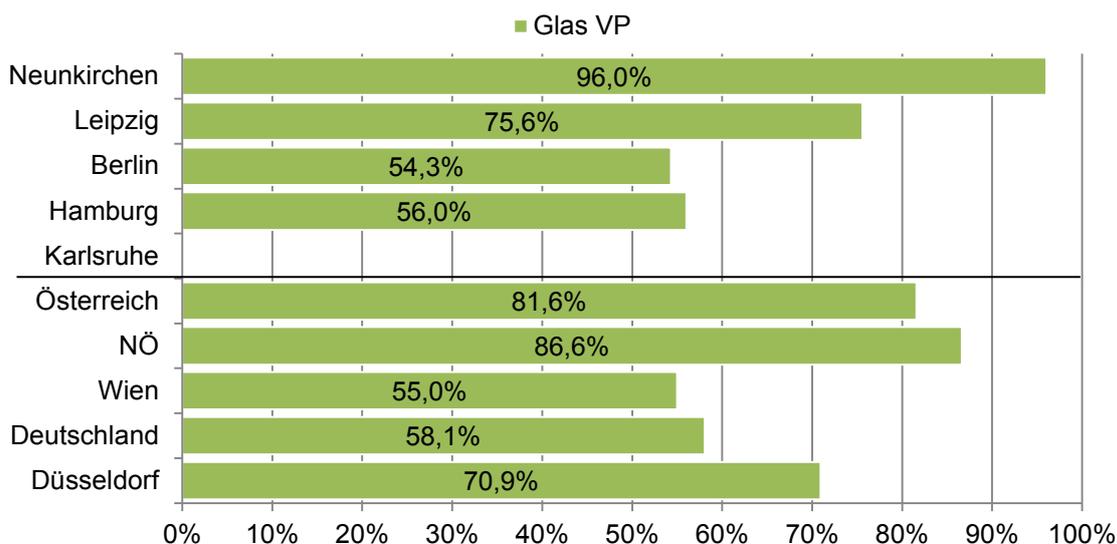


Abb. 37: Vergleich der Erfassungsquoten für Altglas VP für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSV ERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013)

5.5 Stoffliche Verwertung

Die gültige Abfallhierarchie gemäß AWG 2002 ist in Abb. 38 dargestellt. Hieraus ergibt sich eine klare Prioritätenfolge, welche die Abfallvermeidung an erster Stelle, gefolgt von der Vorbereitung zu Wiederverwendung reiht. Dem folgt das Recycling durch stoffliche Verwertung welchem der dritthöchste Stellenwert zugeordnet ist. Somit ist das Recycling, gemäß der Vorgaben des AWG 2002, einer sonstigen Verwertung (z.B. energetisch) und der Abfallbeseitigung vorzuziehen.

Gemäß AWG 2002 (§ 2 Abs. 5 Zi. 2) definiert sich die stoffliche Verwertung als „ökologisch zweckmäßige Behandlung von Abfällen zur Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Ausgangsmaterials mit dem Hauptzweck, die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar für die Substitution von Rohstoffen oder aus Primärrohstoffen erzeugten Produkten zu verwenden, ausgenommen die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe werden einer thermischen Verwertung zugeführt“.

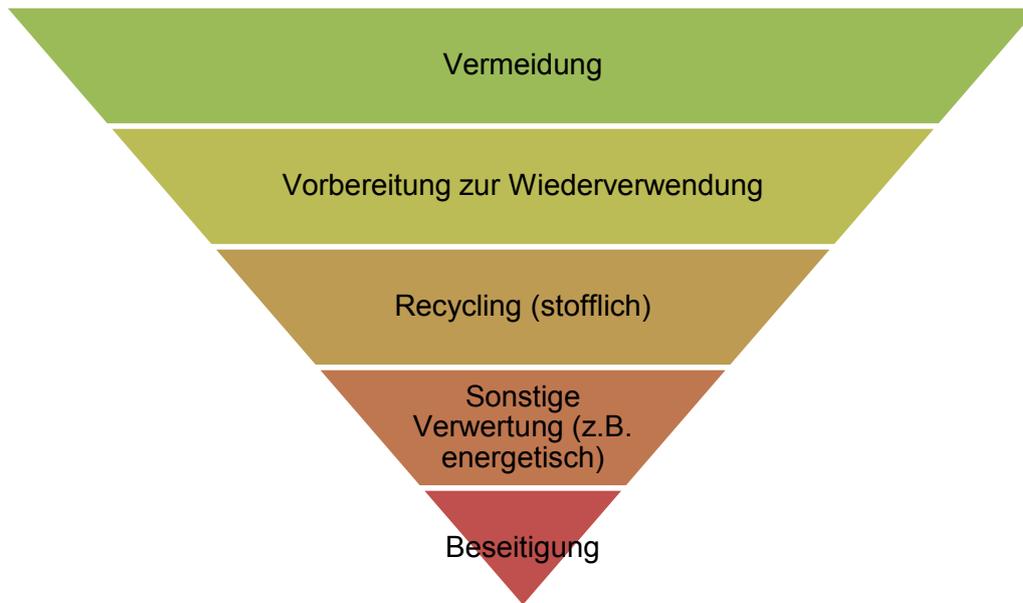


Abb. 38: Abfallhierarchie gemäß Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (Eigene Darstellung nach § 1 Abs. 2 AWG 2002)

Unter dem Überbegriff stoffliche Verwertung werden nach LUBW (2009) folgende Formen der Verwertung unterschieden:

- Werkstoffliche Verwertung
- Rohstoffliche Verwertung.

Bei der werkstofflichen Verwertung erfolgt die Nutzung des Stoffes nach FRICKE et al. (2009) ohne jegliche chemische Veränderung. Anwendungsbereiche dafür sind beispielsweise die Herstellung von Kunststoffgranulat, Glasgranulat, Papier-Recyclat.

Im Gegensatz dazu wird der Abfall bei der rohstofflichen Verwertung nach LUBW (2009) chemisch zerlegt und als Rohstoffersatz genutzt. Beispiele hierfür sind die Herstellung von Synthesegas aus Kunststoffen und die Methanolgewinnung aus organischen Abfällen.

Bei Gegenüberstellung der stofflichen und der thermischen Verwertung ergeben sich nach FRICKE et al. (2009) in Bezug auf die Energieeffizienz klare Vorteile für die stoffliche Verwertung der Fraktionen PPK, Kunststoffe und Glas. Damit einher geht eine geringere Klimawirksamkeit durch reduzierte CO₂-Emissionen im Vergleich zur thermischen Verwertung. Für Metalle lässt sich, in Bezug auf die Ressourceneffizienz, die Abschöpfung aus dem Rohabfall höher einstufen als jene aus Schlacken.

Nach FRICKE et al. (2009) kann eine Steigerung der stofflichen Verwertung für die Fraktionen PPK, Kunststoffe, Metalle und Glas durch die Intensivierung und flexiblere Gestaltung der getrennten Sammelsysteme erreicht werden. Außerdem dazu beitragen kann der intensivere Einsatz geeigneter Sortiertechnologien für die genannten Fraktionen und auch für den Restabfall.

Starken Einfluss auf das Potential der stofflichen Verwertung hat nach HETTLINGER (2015b) zum einen die Anlagen- und Sortiertechnik und zum anderen die vorhandenen Absatzmärkte. Die ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der Sortiertechnik ermöglicht einen hohen Wirkungsgrad der Sortieranlage und somit

hohe Verwertungsquoten. Hierbei darf die Frage nach dem Verhältnis des Aufwands zum erreichbaren Nutzen natürlich nicht außer Acht gelassen werden, so HETTLINGER (2015b).

5.5.1 Stoffliche Verwertung von Verpackungsabfällen

Basierend auf Daten der EUROPÄISCHE UNION (2015b) sind in den folgenden Abbildungen die Raten der stofflichen Verwertung für Verpackungsabfälle dargestellt. Hierbei definiert sich die Rate der stofflichen Verwertung als die Gesamtmenge stofflich verwerteter Verpackungsabfälle dividiert durch die Gesamtmenge der angefallenen Verpackungsabfälle. Da sich die betrachteten Beispiele für die Wertstofftonne auf die Länder Deutschland und Österreich beziehen, wurden auch für diese Auswertung jene beiden Ländern gegenübergestellt und mit Daten der gesamten Europäischen Union verglichen.

Aus Abb. 39 lässt sich die Entwicklung der stofflichen Verwertungsquoten für Verpackungsabfälle in Österreich ablesen. Daraus ist ersichtlich, dass die Quoten für Papier- und Glasverpackungen seit 2002 konstant bei über 80 % liegen und nur minimalen Schwankungen unterliegen. Die Rate der stofflichen Verwertung für Metallverpackungen hat sich im Jahr 2012 bei rund 61 % eingependelt. Am geringsten fällt diese Quotendarstellung für Kunststoffverpackungen aus, wobei die Rate der stofflichen Verwertung 2012 bei rund 35 % liegt.

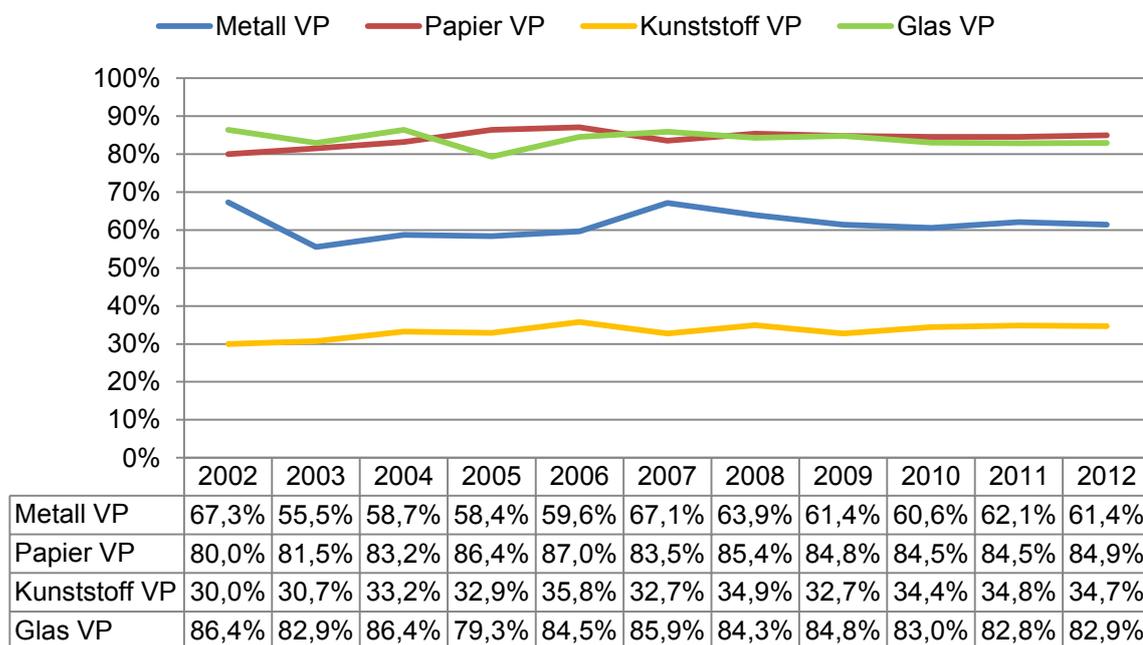


Abb. 39: Entwicklung der stofflichen Verwertungsquote für Verpackungsabfälle in Österreich 2002-2012 (Eigene Darstellung nach EUROPÄISCHE UNION, 2015b)

Der zeitliche Verlauf der stofflichen Verwertungsquote für Verpackungsabfälle in Deutschland stellt sich in Abb. 40 dar. Hieraus lässt sich ablesen, dass die Raten der stofflichen Verwertung für Metall-, Papier- und Glasverpackungen im Jahr 2012 über 80 % liegen. Die stoffliche Verwertungsquote für Metallverpackungen erreicht dabei

den höchsten Wert mit rund 92 %. Für Kunststoffverpackungen zeigt sich die Quote seit 2009 knapp unter 50 %.

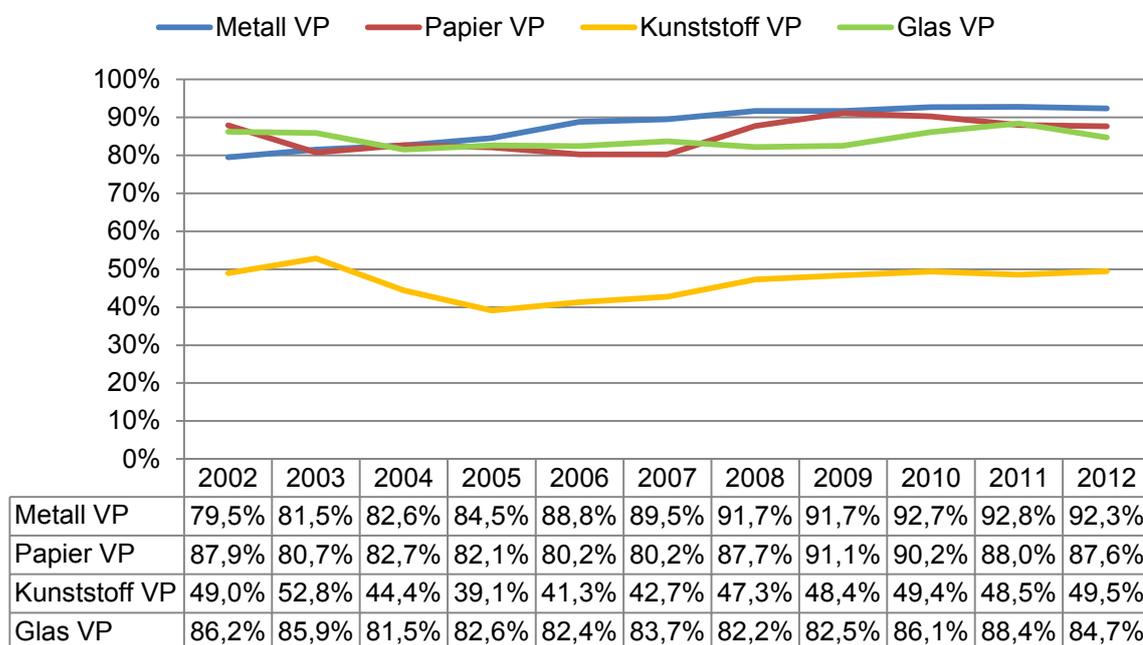


Abb. 40: Entwicklung der stofflichen Verwertungsquote für Verpackungsabfälle in Deutschland 2002-2012 (Eigene Darstellung nach EUROPÄISCHE UNION, 2015b)

Zusammengefasst für das Jahr 2012 sind die Daten für Österreich, Deutschland und die Europäische Union in Abb. 41 dargestellt. Deutschland liegt mit den Quoten für alle dargestellten Verpackungsabfälle über dem EU-Durchschnitt (EUROPÄISCHE UNION, 2015b). Für Österreich hingegen stellt sich die Situation anders dar, denn hier wird der europäische Durchschnitt nur für Papier- und Glasverpackungen überschritten und auch die Rate für Verpackungen Gesamt liegt knapp darüber. In Bezug auf Metall- und Kunststoffverpackungen fallen die Quoten der stofflichen Verwertung für Österreich im Vergleich zur Europäischen Union unterdurchschnittlich aus.

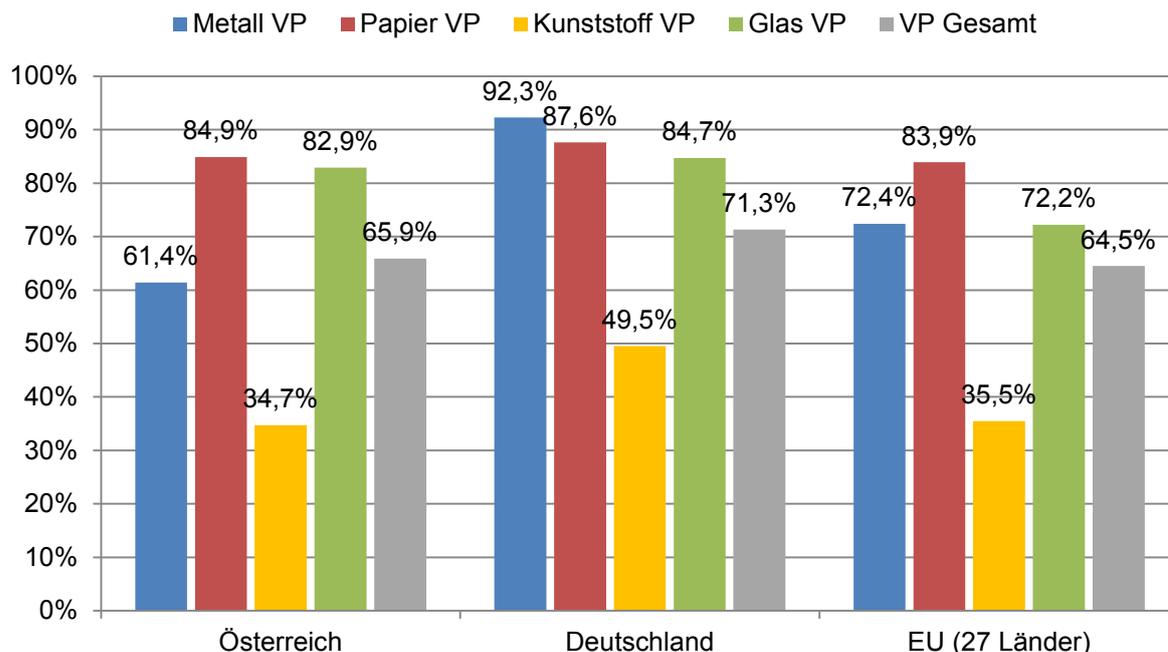


Abb. 41: Gegenüberstellung der stofflichen Verwertungsquoten für Verpackungsabfälle für Österreich, Deutschland und die Europäische Union im Jahr 2012 (Eigene Darstellung nach EUROPÄISCHE UNION, 2015b)

5.5.2 Verwertungsquoten der ausgewählten Projekte

Die Verwertungsquoten für die ausgewählten Projekte zur Umsetzung der Wertstofftonne sollen im folgenden Abschnitt näher beschrieben werden.

Im Bezirk Neunkirchen werden nach HETTLINGER (2015b) aktuell rund 60 % des Inhalts der Grünen Tonne einer stofflichen Verwertung zugeführt. Mit der entsprechenden Technik und einfachen Anpassungen der Sortieranlage könnte, nach HETTLINGER (2015b), diese Quote erheblich gesteigert werden. Bei relativ hohen Investitionen wäre sogar eine Steigerung auf bis zu 90 % stoffliche Verwertung, ohne Sortierreste erreichbar. Hierbei steht aber immer die Rentabilität und Sinnhaftigkeit im Mittelpunkt, denn der eingesetzte Aufwand muss immer in Relation zum daraus gewonnenen Nutzen stehen (HETTLINGER, 2015b). Weitere beeinflussende Faktoren hierbei stellen auch die Rohstofflage und der vorherrschende Absatzmarkt dar, welcher einem ständigen Wandel unterliegt. Denn nach HETTLINGER (2015b) sind aktuell Fraktion absetzbar und können verkauft werden, für die vor Jahren noch kein Absatzmarkt bestanden hat.

Die in der Stadt Leipzig in der Gelbe Tonne^{plus} erfassten LVP und StNVP werden nach SHC (2014) zu 100 % einer Verwertung zugeführt. Wobei hier in der zur Verfügung stehenden Literatur keine Differenzierung zwischen energetischer und stofflicher Verwertung vorgenommen wird und somit keine Aussage über die tatsächliche stoffliche Verwertungsquote getroffen werden kann.

Die Inhalte der Berliner Wertstofftonne werden nach SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN (2014) zu 100 % einer Verwertung zugeführt. Davon werden 41 % stofflich verwertet und die restlichen 59 % gelangen in die energetische Verwertung.

Laut einer Sortieranalyse der STADTREINIGUNG HAMBURG (2015a) vom Februar 2015, fallen 39 % des erfassten Inhalts der Hamburger Wertstofftonne als Sortierreste an. Dieser Anteil wird der thermischen Verwertung zugeführt. Die übrigen 61 % gehen in die stoffliche Verwertung.

Für die Inhalte der Wertstofftonne Karlsruhe und die weiterführende Verwertung konnten aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit keine detaillierten Zahlen eruiert werden. In der Abfallstatistik des ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEB DES LANDKREISES KARLSRUHE (2014) findet sich einzig die Aussage, dass die meisten LVP und StNVP einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, dies kann allerdings nicht mit einem Prozentwert quantifiziert werden.

Tab. 20: Quoten der stofflichen Verwertung für die ausgewählten Projekte (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ HETTLINGER, 2015b; ⁽²⁾ SHC, 2014; ⁽³⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; ⁽⁴⁾ STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; ⁽⁵⁾ ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEB DES LANDKREISES KARLSRUHE, 2014)

Gebiet, Sammelsystem	Stoffliche Verwertungsquote
Neunkirchen – Grüne Tonne	rund 60 % ⁽¹⁾
Leipzig – Gelbe Tonne ^{plus}	100 % ^{(2)*}
Berlin – Wertstofftonne	41 % ⁽³⁾
Hamburg – Wertstofftonne	61 % ⁽⁴⁾
Karlsruhe – Wertstofftonne	– ^{(5)**}

*Quote der Verwertung gesamt, keine Differenzierung zwischen stofflicher und energetischer Verwertung

**stoffliche Verwertung der meisten LVP und StNVP, keine detaillierten Zahlenwerte in der Literatur vorgefunden

In Tab. 20 sind zusammengefasst die Quoten der stofflichen Verwertung für alle ausgewählten Beispielregionen dargestellt. Nachdem für die Stadt Karlsruhe keine stoffliche Verwertungsquote quantifiziert werden konnte, kann dieses Projekt für die gegenständliche Analyse nicht berücksichtigt werden. Ebenso ausgeschlossen wird die in Tab. 20 angegebene Quote von 100 % für die Stadt Leipzig, denn diese bezieht sich nicht ausschließlich auf die stoffliche Verwertung, sondern stellt die Summe aus stofflicher und energetischer Verwertung dar. Somit bleiben für den Vergleich die stofflichen Verwertungsquoten des Bezirks Neunkirchen und jene der Städte Berlin und Hamburg bestehen. Hierbei erreicht die niedrigste Quote der stofflichen Verwertung die Berliner Wertstofftonne mit 41 %. Die Grüne Tonne Neunkirchen und die Hamburger liegen gleich auf bei rund 60 % stofflicher Verwertung.

5.6 Sortiertechnologie

Um das Ziel möglichst hoher Abschöpfungsleistungen und gleichzeitig guter Wertstoffqualitäten zu erreichen, sind nach FRICKE et al. (2009) die Erfassungs- und

Sammelsysteme optimal auf die Sortiertechnik abzustimmen. Im folgenden Abschnitt werden die grundlegenden Techniken zur Abfallsortierung beschrieben und abschließend Anlagenbeispiele angeführt.

Die Sortiertechnologie und vor allem ihre ständige Weiterentwicklung und Verbesserung hat u.a. Einfluss auf die Ausgestaltung von Sammelsystemen und somit auch auf das System der Wertstofftonne. Denn je besser entwickelt und je sortenreiner die Sortierung von Abfällen funktioniert, desto mehr kann eine Verlagerung der Vorsortierung der Abfälle von den Haushalten weg, hin zu professionellen Sortieranlagen vorgenommen werden. Dadurch fällt für den Nutzer die Entscheidung bzw. das detaillierte Wissen zur Abfalltrennung weg, denn in den Haushalten können, z.B. in einer Wertstofftonne, mehrere Abfallfraktionen gemeinsam erfasst werden (HETTLINGER, 2015b).

Im folgenden Abschnitt wird auf die verschiedenen Prozesse zur Abfallsortierung eingegangen, abschließend ergänzt mit Anlagenbeispielen aus der Praxis.

Grundlegend finden für die Abfallsortierung nach PRETZ und JULIUS (2008) folgende Trennmerkmale Anwendung:

- Form,
- Stoffdichte,
- Magnetisierbarkeit,
- elektrische Leitfähigkeit und
- unterschiedlichste Oberflächeneigenschaften (z.B. Farbe).

Die Ausgestaltung der unterschiedlichen Sortierverfahren basiert nach LÖHR et al. (1995) auf den Stoffeigenschaften der verschiedenen Partikel. Tab. 21 zeigt die Strukturierung der Sortierverfahren und die dazugehörigen Prozesse auf. Prinzipiell können Sortierverfahren in partikelspezifische und materialspezifische Prozesse untergliedert werden.

Tab. 21: Einteilung der Sortierprozesse (Eigene Darstellung nach LÖHR et al., 1995)

SORTIERUNG	Korngröße (partikelspezifisch)		Stoffart (materialspezifisch)	
	geometrisch (klassierend)	strömungs- mechanisch	berührungslos	materiell/ strukturell

PROZESSE	Sieben	Sichten	Identifizieren und Klauben	Elektrosortierung	Sinkscheiden
		Setzen		Wirbelstrom	Flotation
				Magnet- abscheider	Prallsortieren

5.6.1 Sieben

Nach DSD (2004) wird bei der Siebklassierung der aufzugebene Abfallstrom nach charakteristischen, geometrischen Abmessungen unter Verwendung von Sieben aufgetrennt.

Beim Prozess der Siebung teilt sich der Abfallstrom in die folgenden zwei Fraktionen:

- Überlauf: Teilchen, deren Abmessung größer sind als die Sieböffnungen
- Unterlauf: Material, dessen Stückgrößen kleiner sind als die Sieböffnungen.

Je nach Art der Bewegung des Siebgutes auf dem Siebeboden, lassen sich unterschiedliche Ausführungen von Sieben unterscheiden, z.B. Trommelsieb, Schwingsieb, Sternsieb, Scheibensieb.

5.6.2 Sichten

Die Sichtung von Abfällen ist den Prozessen der Stromklassierung zuzuordnen, dabei erfolgt die Trennung nach dem Kriterium der stationären Sinkgeschwindigkeit in einem Luftstrom (DSD, 2004). Die stationäre Luftgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit eines Teilchens im freien Fall, bei Gleichgewicht der beschleunigend wirkenden Erdanziehungskraft und der Widerstandskräfte. Die stationäre Sinkgeschwindigkeit eines Teilchens ist abhängig von seiner Größe, der Dichte und der äußeren Form.

Durch diesen Prozess erfolgt die Splittung in folgende Fraktionen:

- Leichtfraktion: stationäre Sinkgeschwindigkeit der Teilchen ist geringer als die Geschwindigkeit des Luftstroms
- Schwerfraktion: Teile mit größerer Sinkgeschwindigkeit

Unter Windsichtung wird nach DSD (2004) das Auftrennen eines Materialgemisches im Luftstrom verstanden.

5.6.3 Elektrosortierung

Beim Prozess der Elektrosortierung erfolgt nach NICKEL (1996) die Sortierung der Teilchen im elektrischen Feld durch Ablenkung. Für den Trenneffekt verantwortlich sind die unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit der Teilchen und ihre Oberfläche. Die Erzeugung der elektrischen Ladung kann nach drei unterschiedlichen Verfahren erfolgen:

- Polarisation im elektrischen Feld,
- Triboaufladung (Reibungselektrizität) oder
- Aufladung im Koronafeld (MARTENS, 2011).

Vorwiegende Anwendungsbereiche der Elektrosortierung sind die Kunststoff-Kunststoff-Sortierung, die Metall-Kunststoff-Sortierung und die Elektronikschrottaufbereitung (MARTENS, 2011).

5.6.4 Wirbelstrom

Ziel der Wirbelstromabscheidung nach DSD (2004) ist die Aussortierung von NE-Metallen, z.B. Kupfer, Blei, Aluminium. Hierbei wird durch das rotierende Magnetfeld in der Trommel in elektrisch leitenden Teilchen ein Wirbelstrom induziert, welcher

wiederum ein Magnetfeld erzeugt (MARTENS, 2011). Das magnetisierte Metallteilchen - z.B. Kupfer, Blei, Aluminium - wird von der Trommel abgestoßen und somit vom restlichen Abfallstrom separiert. Abb. 42 zeigt schematisch den prinzipiellen Aufbau eines Wirbelstromabscheiders. Die Teilchen mit höherer Leitfähigkeit (Abb. 42 – Fraktion B) werden von der Poltrommel stärker abgestoßen und so, von der nicht-metallischen Fraktion mit geringer Leitfähigkeit separiert.

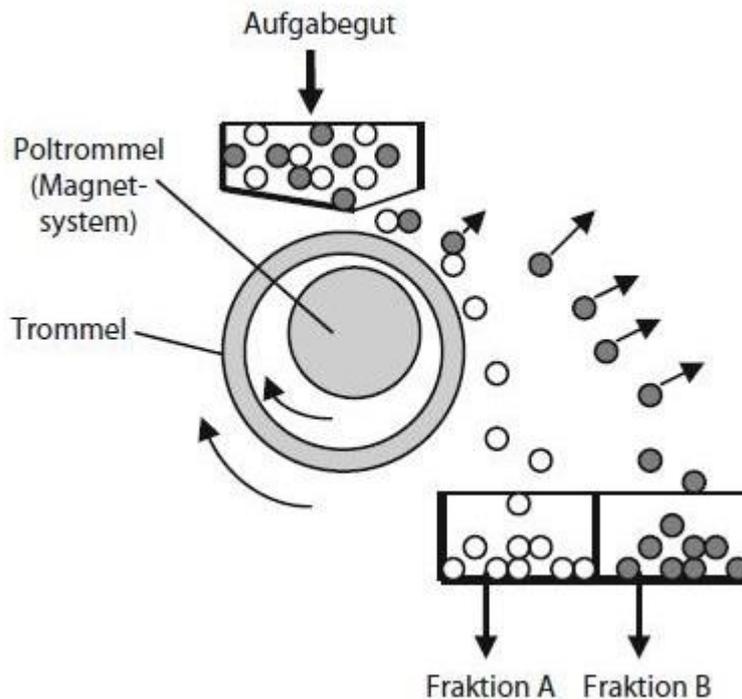


Abb. 42: Schematische Funktionsdarstellung eines Wirbelstromabscheiders, Fraktion A: geringer Wert Leitfähigkeit/Dichte, Fraktion B: hoher Wert Leitfähigkeit/Dichte (MARTENS, 2011)

5.6.5 Magnetabscheider

Mittels Magnetabscheider können nach DSD (2004) magnetisierbare Materialien - Weißblech, Eisen, Stahl - aussortiert werden. Im Zuge der Sortierung von LVP wird der Prozess der Magnetabscheidung hauptsächlich zur Gewinnung der Weißblechfraktion eingesetzt. Je nach Ausgestaltung des Magnetabscheiders können unterschiedliche Bauarten, auf welche im folgenden Abschnitt eingegangen wird, unterschieden werden.

Überbandmagnet

Der Überbandmagnet wird zumeist quer über dem Förderband angebracht und zieht so ferromagnetische Teilchen aus dem Abfallstrom und wirft diese am Ende des Bandes wieder ab.

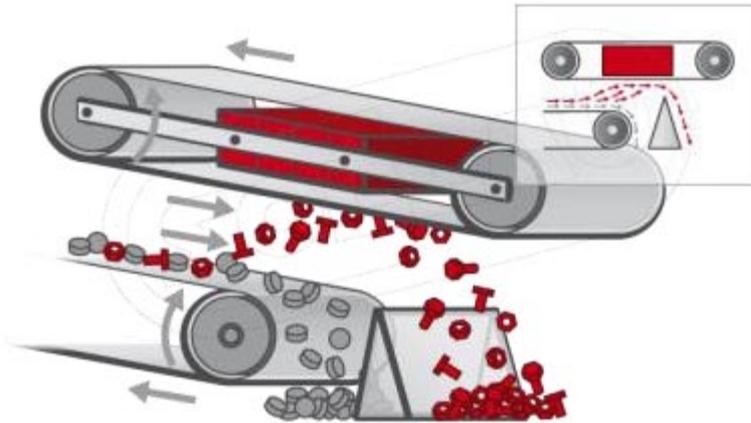


Abb. 43: Funktionsweise Überbandmagnet (SOLLAU S.R.O., s.a.c)

Trommelmagnet

Eine Trommel aus rostfreiem Edelstahl dreht sich um einen fixierten, halbmondförmigen magnetischen Kern. Dieser Magnet zieht ferromagnetische Materialien an, welche folglich an der Trommel haften und bis hinter die Achse der Trommel transportiert und ausgetragen werden.

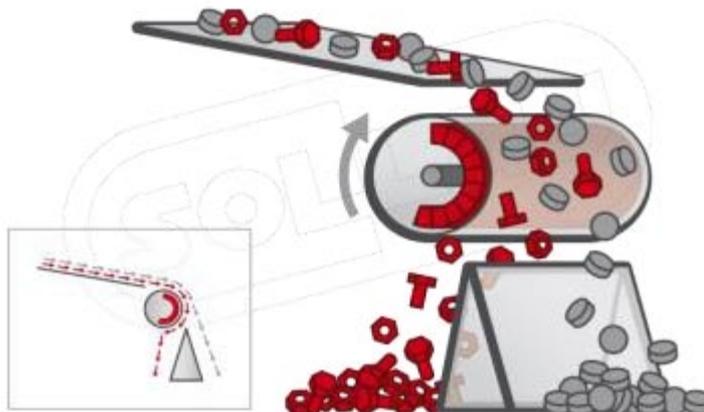


Abb. 44: Funktionsweise Trommelmagnet (SOLLAU S.R.O., s.a.a)

Magnetbandrolle/Magnetwalze

Das Hauptstück der Anlage besteht aus einem inneren magnetischen Kern und einer Trommel aus rostfreiem Edelstahl, die sich auf einer Welle drehen. Die ferromagnetischen Bestandteile des Abfallstroms haften an der Magnetwalze und werden zu der Stelle ausgetragen, an der sich das Förderband beginnt von der Magnetwalze zu trennen.

Im Unterschied zum Trommelmagnet stellt die Magnetwalze einen integralen Bestandteil des Förderbandes dar.

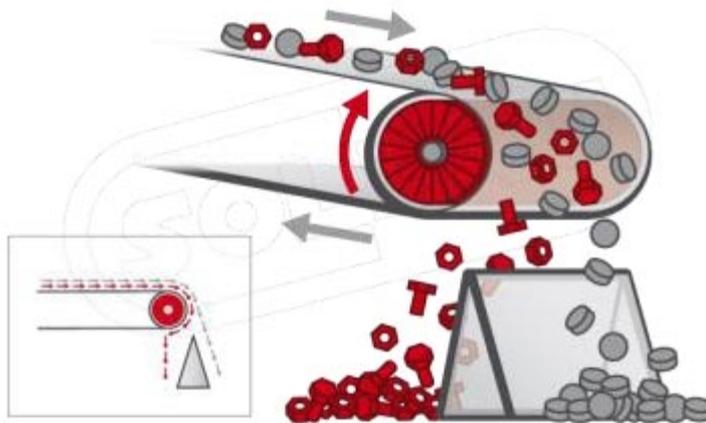


Abb. 45: Funktionsweise Magnetwalze (SOLLAU S.R.O., s.a.b)

5.6.6 Sinkscheiden

Bei der Schwimm-Sink-Sortierung werden feste Stoffe unterschiedlicher Dichte voneinander getrennt. Dazu werden diese einem Trennmedium zugeführt, dessen Dichte zwischen den Dichten der zu trennenden Komponenten liegt (NICKEL, 1996). Dadurch sinken die Teilchen mit höherer Dichte ab und jene mit geringerer Dichte schwimmen oben auf, siehe Abb. 46. Das Schwimmgut wird an der Oberfläche abgeschöpft und das Sinkgut ausgetragen. Als Trennmedium wird nach MARTENS (2011) größtenteils Wasser eingesetzt, andere Dichten des Trennmediums können mit Salzlösungen, Wasser-Alkohol-Gemischen oder Schwertrüben erreicht werden. Das Schwimm-Sink-Verfahren wird häufig zur Sortierung von Kunststoffen und zur Trennung von Metallen verwendet.

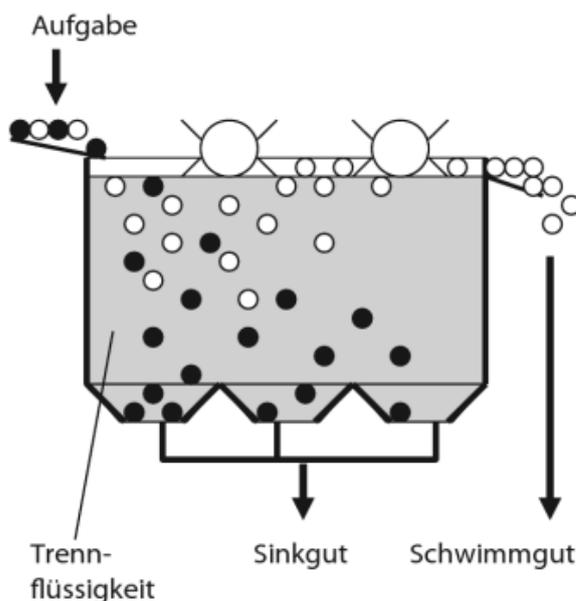


Abb. 46: Schematische Funktionsdarstellung eines Schwimm-Sink-Scheiders (MARTENS, 2011)

5.6.7 Flotation

Die Flotation zählt zu den physikalisch-chemischen Trennverfahren. Auf Grundlage der Benetzbarkeit bestimmter Stoffe im Wasser werden feinkörnige Feststoffe, meist < 0,5 mm sortiert. Dabei wird das zu trennende Feststoffgemisch nach G.U.N.T. GERÄTEBAU GMBH (2009) in einen Behälter mit Wasser gegeben, in welches Luftblasen eingebracht werden. Diese Luftblasen haften an schwer mit Wasser benetzbaren Feststoffteilchen und tragen diese an die Wasseroberfläche. Dort bildet sich ein feststoffhaltiger Schaum, welcher abgezogen werden kann (MARTENS, 2011).

5.6.8 Prallsortieren

Bei der Prallsortierung erfolgt die Auftrennung nach elastischen Eigenschaften, unter Nutzung der Härteunterschiede der einzelnen Teilchen (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1992). Dazu fallen die Einzelkörner auf eine geneigte Platte und prallen dort entsprechend ihrer spezifischen, elastischen Eigenschaften mit unterschiedlicher Flugbahn ab (AMLINGER et al., 2005). Je elastischer ein Teilchen ist, desto weiter wird es abgeprallt (DSD, 2004).

Anwendung findet dieses Verfahren u.a. in der Rohkompost-Aufbereitung zur Entfernung harter, anorganischer Bestandteile (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1992).

5.6.9 Sensorgestützte Sortierung

Die sensorgestützte Sortierung kennzeichnet sich nach PRETZ und JULIUS (2008) durch die Fähigkeit zur berührungslosen Erkennung von Stoffeigenschaften. Die Auftrennung der Abfälle erfolgt anhand äußerer Merkmale mittels berührungslosen Sensoren. Diese äußerlich identifizierbaren Eigenschaften der Materialien können u.a. Form, Farbe, Dichte oder elektrische Leitfähigkeit sein (KILLMANN und PRETZ, 2006).

Differenziert zu den bisher beschriebenen, traditionellen Sortiertechniken wird bei der sensorgestützten Sortierung das Sortierkriterium vom eigentlichen mechanischen Trennvorgang entkoppelt (GSCHAIDER und HUBER, 2008).

Nach WOTRUBA (2008) werden grundsätzlich zwei Sortiertypen unterschieden, der Band- und der Rutschen-Typ.

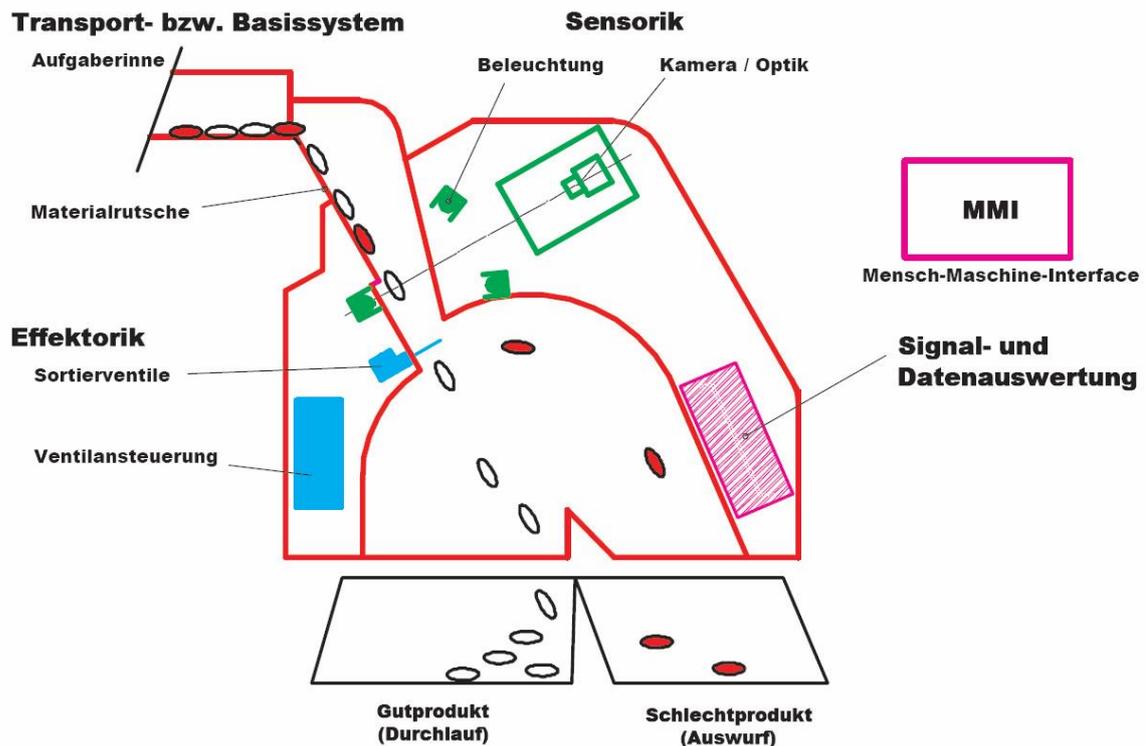


Abb. 47: Aufbau eines optischen Sortierers - Beispielskizze eines Rutschen-Typs (GSCHAIDER und HUBER, 2008)

Die ständige Weiterentwicklung der Detektoren und die zunehmende Implementierung von Sensorkombinationen führen zum stetigen Anstieg der sortierfähigen Stoffe (PRETZ und JULIUS, 2008). Tab. 22 gibt einen Überblick zu den materialbedingten Trennkriterien, den verwendeten Sensoren und den Anwendungsgebieten der sensorgestützten Sortierung. Die Sortierung von Abfällen nach deren Farbe stellt den ältesten Einsatzbereich dieser Sortiertechnik dar. Die Farbsortierung wird insbesondere zur Auftrennung bzw. zum Recycling von Altglas und Kunststoffen eingesetzt. Die NIR-Sortierung, welche das reflektierte und somit nicht sichtbare Licht im nahen Infrarotbereich zur Erkennung nutzt, findet vor allem im Bereich der LVP-Sortierung und der Wertstoffrückgewinnung aus Abfallgemischen Anwendung. Hierbei können Getränkekartons, PPK sowie einzelne Kunststofffraktionen selektiv identifiziert und abgeschieden werden (PRETZ und JULIUS, 2008). Je nach Beschaffenheit der Abfälle sind laut PRETZ und JULIUS (2008) Produktreinheitsgrade von 90-97 Masse-% erreichbar.

Die Trennqualität der NIR-Sortierung wird durch schwarze, bzw. sehr dunkel eingefärbte Materialien negativ beeinflusst. Hierbei wird, nach HUESKENS (2006) das NIR-Licht soweit absorbiert, dass keine Strahlung an den Sensor rückreflektiert wird.

Tab. 22: Typische Anwendungsgebiete der sensorgestützten Sortierung (Eigene Darstellung nach PRETZ und JULIUS, 2008)

Trennkriterium	Sensorik	Einsatzbereich
Farbe, Helligkeit	Farbkameras und VIS Spektrometer	Altglas, Kunststoffe, PET-Flakes, Granulate, Kupfer und Messing aus NE-Metallgemischen, Platinen aus Elektronikschrott
Transparenz	Farbkameras	undurchsichtige Bestandteile aus Glas
Farbe, Glanz	Farbkameras	Trennung von Illustrierten aus Altpapier
molekulare Zusammensetzung an der Oberfläche	NIR-Spektrometer	Kunststoffe aus LVP und anderen Abfällen, Getränkkartons aus LVP, Auftrennung von Kunststoffgemischen in (PE, PP, PS, PA, PET, PVC), PPK aus Abfallgemischen, etc.
elektrische Leitfähigkeit	induktive Detektoren	Metalle aus diversen Abfallgemischen
Dichte	Röntgendetektoren	Aluminium aus NE-Metallgemischen, Elektronikkleingeräte aus LVP, PVC und Gummi aus Shredderrückständen, etc.

5.6.10 Anlagenbeispiele

Abschließend sollen einige Beispiele für Sortieranlagen einen Einblick in die gelebte Praxis der Abfallsortierung liefern.

Prinzipiell muss jede Sortieranlage individuell an den anfallenden, zu sortierenden Abfall angepasst werden. Somit gibt es keine Standardanlage, auf der jedes Abfallgemisch sortiert werden kann (HETTLINGER, 2015b).

Abb. 48 zeigt den schematischen Aufbau einer LVP-Sortieranlage und die gewonnenen Sortierfraktionen. Als erster Prozessschritt erfolgt die Gebindeöffnung, hierbei sollen nach BÜNEMANN et al. (2011) nicht nur die Sammelsäcke aufgerissen, sondern auch kleinere verschlossene Gebinde wie z.B. Müllbeutel geöffnet werden, um die Inhalte freizulegen. Der Prozess der Gebindeöffnung kann nach DSD (2004) entweder durch schneiden, schlagen oder reißen erfolgen. Als erste Trennstufe folgt die Siebklassierung, hierbei hat sich für diese Primärsiebung ein Trennschnitt von 220 mm bewährt (BÜNEMANN et al., 2011). Der erzeugte Siebüberlauf wird zur Abtrennung von Folien über einen Windsichter geführt.

Als zweiter Schritt der Siebung erfolgt die Feinkornabtrennung mit einer Maschenweite von 22 mm. Der Materialstrom nach der Siebung, mit einer Korngröße zwischen 22 und 220 mm, wird einer Windsichtung unterzogen. Das hier anfallende

Leichtgut wird als Mischkunststoffe ausgeschleust. Danach folgt der Prozessschritt der Magnetabscheidung zur Abtrennung ferromagnetischer Bestandteile im Abfallstrom. Das hier aussortierte Weißblech wird ausgeschieden. Der übrige Abfallstrom, bestehend aus formstabilen Kunststoffen, NE-Metallen, GVK, sonstigen Verbunden und Fehlwürfen (z.B. PPK) wird über sensorgestützte automatische Trennstufen – v.a. NIR-Spektrometer – geführt (BÜNEMANN et al., 2011). Dem zwischengeschaltet sind Wirbelstromabscheider zur Abtrennung metallischer, nicht ferromagnetischer Bestandteile, z.B. Aluminium. In modernen LVP-Sortieranlagen sind nach LFU (2005) mindestens zwei, im Normalfall jedoch drei oder vier NIR-Einheiten installiert. Dieser Kaskade folgt eine sensorgestützte Kontrolle der Sortierprodukte, welche ggf. durch eine manuelle Sortierung ergänzt wird.

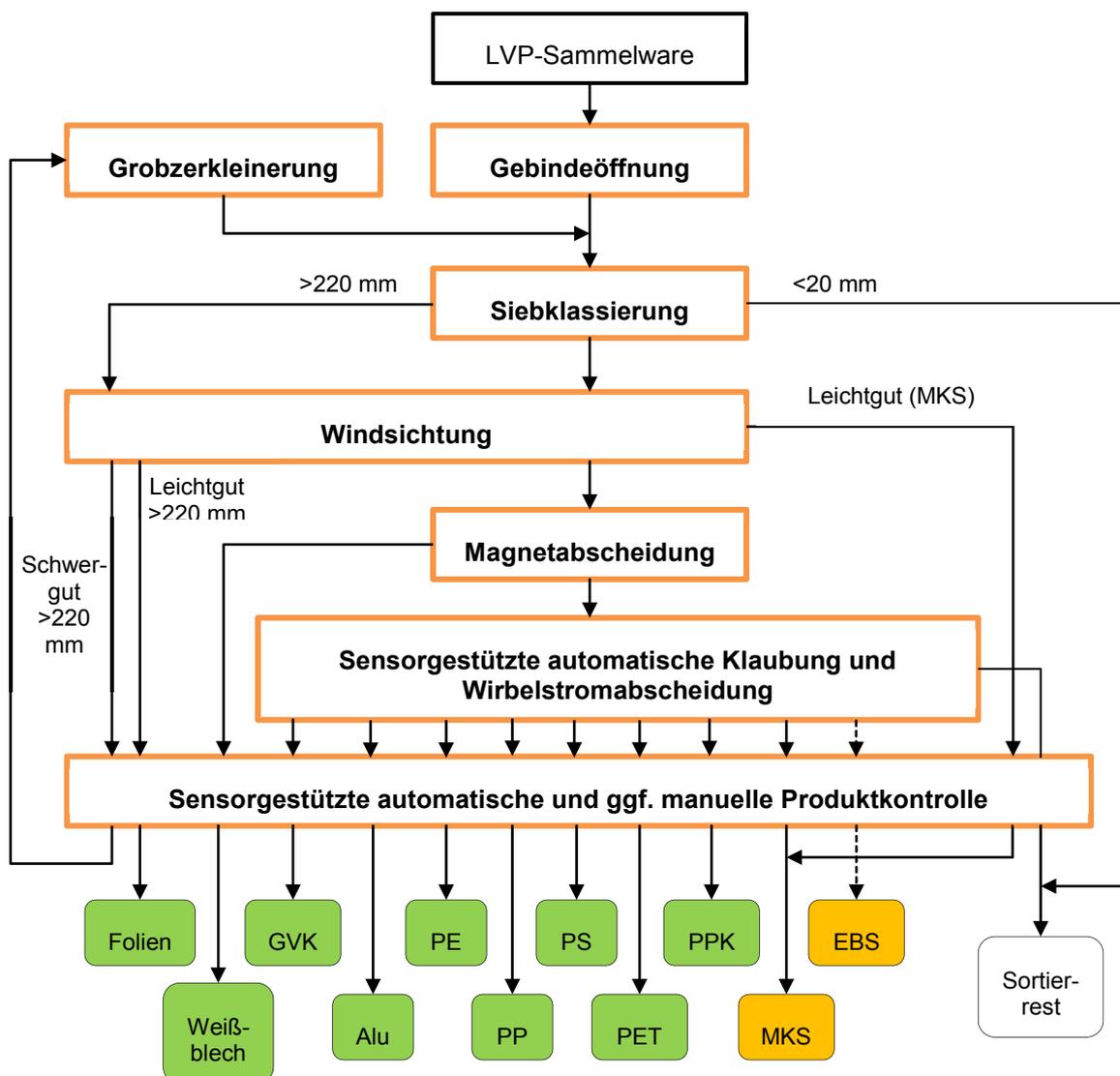


Abb. 48: Schematische Darstellung der LVP-Sortierung (Eigene Darstellung nach BÜNEMANN et al., 2011 und BÜNEMANN und CHRISTIANI, 2011)

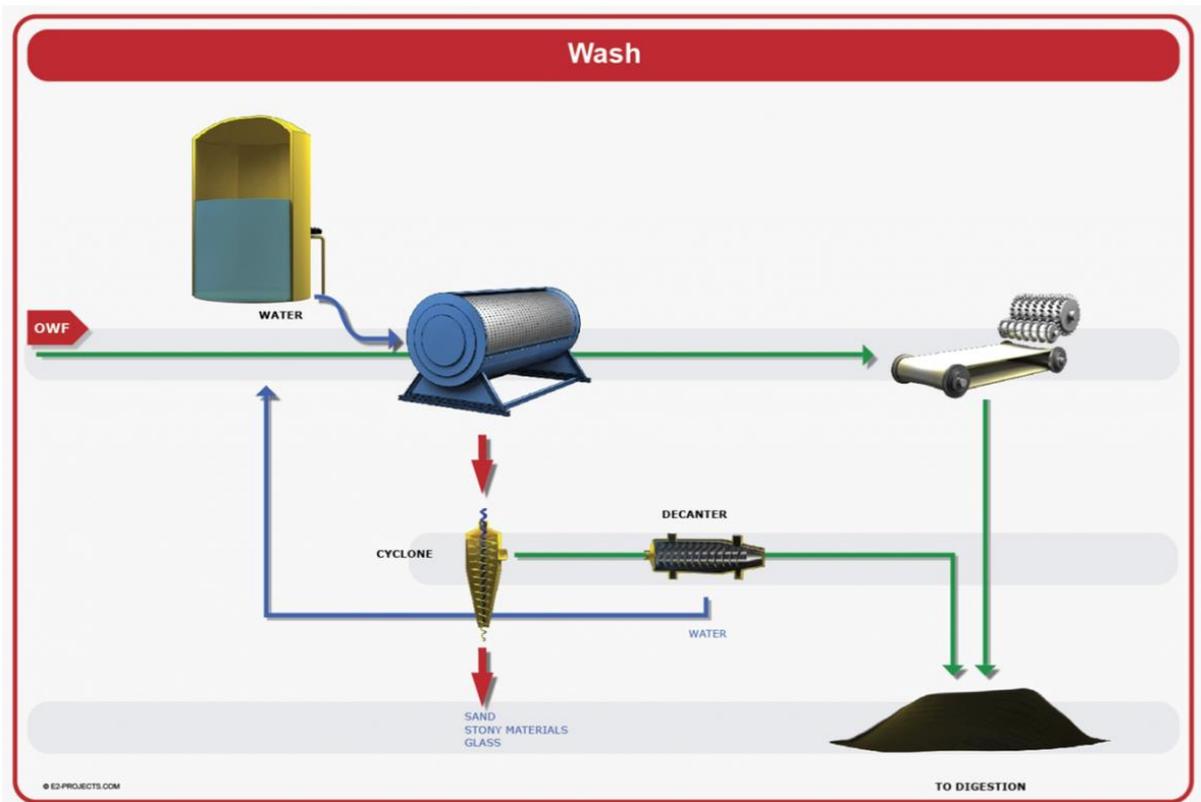


Abb. 50: Waschprozess, OMRIN Technologie (ORGAWORLD NEDERLAND BV, s.a.)

Im dritten und letzten Prozessschritt, siehe Abb. 51, erfolgt die anaerobe Vergärung der organischen Abfallfraktion zu Biogas. Der verbleibende Gärrest wird getrocknet und thermisch verwertet (ORGAWORLD NEDERLAND BV, s.a.).

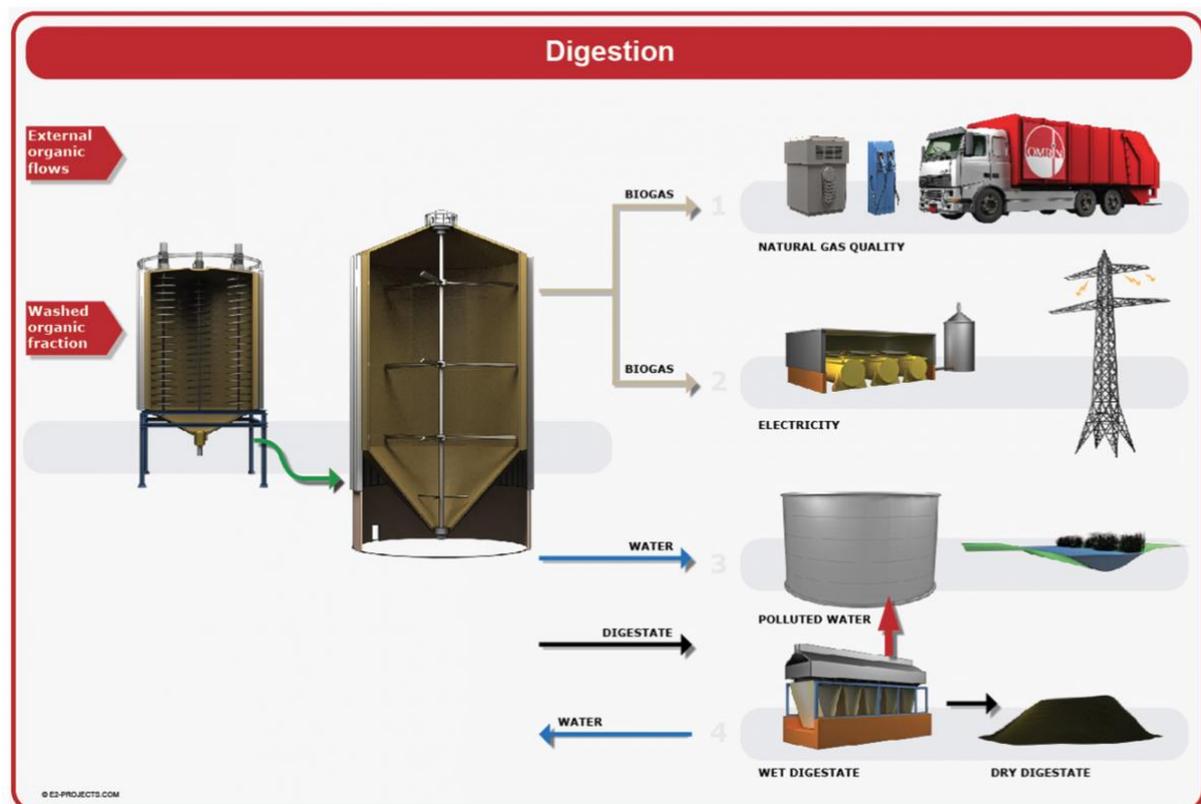


Abb. 51: Anaerobe Vergärung, OMRIN Technologie (ORGAWORLD NEDERLAND BV, s.a.)

Die Anwendung der OMRIN Technologie ermöglicht eine Auftrennung des Abfallgemisches laut ORGAWORLD NEDERLAND BV (s.a.) in folgende Fraktionen bzw. Produkte:

- Metalle,
- PPK,
- Kunststoffe,
- EBS,
- Minerale,
- Biogas,
- Gärrest,
- Reinwasser.

In Tab. 23 sind die einzelnen Fraktionen, ihre jeweiligen Anteile und die Wege der Weiterverwendung aufgelistet. Demnach entfallen 40-50 % der Endprodukte auf EBS, welche weiterführend in der Zementindustrie zum Einsatz kommen.

Tab. 23: Gewonnene Fraktionen nach Anwendung der OMRIN Technologie - Anteile und Verwendungswege (Eigene Darstellung nach ORGAWORLD NEDERLAND BV, s.a.)

Produkt	%	Anwendung / Produktion
Metalle	3-5	Metallindustrie
PPK	5-10	Papierindustrie
Kunststoffe	5-10	Kunststoff-Recycling
EBS	40-50	Zementindustrie
Minerale (Sand, Glas)	15-20	Baustoffe
Biogas	6-10	Energie und Wärme
Gärrest	4-8	Energie, Dünger
Reinwasser	6-10	
Summe	100	

5.6.10.2 Sortieranlage Romerike, Norwegen

In der Sortieranlage in Romerike wird u.a. der Abfall der norwegischen Hauptstadt Oslo sortiert. In Oslo wurde nach HOLMERTZ (2015) ein „Sack im Behälter“-System umgesetzt. Dabei werden biologische Abfälle in grünen Säcken und Kunststoffe in blauen Säcken gesammelt und gemeinsam mit dem Restmüll in einer Tonne entsorgt und abgeholt (LAMBERTZ, 2015). Nach SKOVLY (2014) werden in dieser Sortieranlage folgende Fraktionen sortiert:

- Organische Abfälle,

- Fe- und NE-Metalle,
- Kunststoffe (PET, PP, HDPE, PE Folien, Mischkunststoffe),
- PPK,
- Restabfall.

Die Sortieranlage besteht aus folgenden Komponenten: Sacköffner, zwei Trommelsiebe, ballistische Trenneinheit, Überbandmagnet, Wirbelstromscheider und 13 NIR-Einheiten (SKOVLY, 2014). Als erster Schritt der Sortierung werden nach HOLMERTZ (2015) die grünen und blauen Säcke erkannt und dementsprechend vom übrigen Abfallstrom separiert, alle andersfarbigen Säcke werden nicht erkannt und somit als Restmüll weitergehend sortiert und verwertet.

6. Diskussion

Die vorliegende Arbeit vergleicht fünf ausgewählte Beispiele zur Umsetzung der Wertstofftonne. Bei der Diskussion der Ergebnisse wird auf die Unterschiede der Beispielregionen eingegangen. Besonderes Augenmerk dabei wird auf die Veränderung der Sammelmengen durch die Einführung der Wertstofftonne und die Erfassungsquoten gelegt. Außerdem werden an dieser Stelle die erreichten stofflichen Verwertungsquoten der Beispielregionen in Relation zu Gebieten ohne Wertstofftonne gestellt.

6.1 Vergleich ausgewählter Modellversuche

Die fünf ausgewählten Beispielregionen, in denen der Systemansatz der Wertstofftonne umgesetzt wurde, weisen Unterschiede in der Siedlungsstruktur, besonders in Bezug auf die Einwohnerdichte auf. Die geringste Siedlungsdichte herrscht im Bezirk Neunkirchen mit 75 E/km². Das am dichtesten besiedelte Gebiet stellt die Stadt Berlin mit 3.891 E/km² dar.

Auch in Bezug auf die Einführung der Wertstofftonne lassen sich Differenzen darstellen. Am längsten im Regelbetrieb befindet sich die Grüne Tonne im Bezirk Neunkirchen, diese wurde nach REINHALTEVERBAND GRÜNE TONNE GMBH (2007) im Jahr 1986 eingeführt. Die Einführung der Wertstofftonne Karlsruhe erfolgte im Jahr 1989 (KRANERT und SIHLER, 2008). Deutlich später, v.a. im Zusammenhang mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz in Deutschland, erfolgt die Einführung der Wertstofftonne in den Städten Leipzig, Berlin und Hamburg.

In den Städten Leipzig, Berlin und Hamburg wurde die Wertstofftonne im Vorfeld der Einführung im Rahmen von Pilotversuchen erprobt, um die Idealzusammensetzung der zu erfassenden Stoffgruppen festzulegen. Im Bezirk Neunkirchen und der Stadt Karlsruhe wurde die Wertstofftonne direkt, ohne Pilotversuche, eingeführt.

In allen fünf Regionen werden in der Wertstofftonne die Fraktionen LVP und StNVP erfasst. Zusätzlich dazu werden in der Gelbe Tonne^{plus} der Stadt Leipzig Elektrokleingeräte gesammelt. In der Stadt Karlsruhe landen LVP, StNVP und Holz in der Wertstofftonne. Die meisten Stoffgruppen werden in der Grüne Tonne Neunkirchen erfasst – LVP, StNVP, Elektrokleingeräte, Glas und PPK.

Demnach ergibt sich für die ausgewählten Beispielregionen ein Zusammenhang zwischen der Einführung der Wertstofftonne, der Durchführung von Pilotversuchen und der erfassten Stoffgruppen. Denn nur für die jüngeren Projekte zur

Wertstofftonne wurden im Vorfeld Pilotversuche durchgeführt. Außerdem werden in der Wertstofftonne, je länger deren Einführung zurückliegt, mehr Stoffgruppen gemeinsam erfasst.

6.1.1 Sammelmengen vor und nach Systemumstellung

Die Veränderung der Sammelmengen nach Einführung der Wertstofftonne konnte nicht für alle ausgewählten Projekte quantifiziert werden. Für die beiden Projekte mit dem längsten Regelbetrieb – Neunkirchen und Karlsruhe – konnten keine Vergleichsdaten vor Einführung der Wertstofftonne eruiert werden. Deshalb wurden diese beiden Projekte in den folgenden Vergleich nicht mit eingeschlossen.

Die Sammelmengen der eingeschlossenen Projekte – Leipzig, Berlin, Hamburg – haben im Vergleich vor und nach Systemumstellung zugenommen. Nach LANGEN et al. (2008) konnten die Sammelmengen in Leipzig um 6,8 kg/E*a und in Berlin um 7,2 kg/E*a gesteigert werden. In Hamburg fiel die Zunahme mit 3,9 kg/E*a am geringsten aus. Im Mittel dieser drei Projekte betrug die Steigerung der Sammelmengen bedingt durch die Einführung der Wertstofftonne rund 6 kg/E*a.

Nach einer Studie von BÜNEMANN et al. (2011) beträgt die Steigerung der Erfassungsmengen durch Einführung einer Wertstofftonne im Mittel rund 7 kg/E*a. Die Zuwächse der betrachteten Projekte liegen im Mittel rund 1 kg/E*a unter diesem Wert.

6.1.2 Abfallpotential und Erfassungsquoten

Die gesamtheitliche Betrachtung der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle in den Gebieten mit Wertstofftonne im Vergleich zu den Vergleichsgebieten Österreich, Niederösterreich, Wien, Deutschland und Düsseldorf ist in Abb. 52 dargestellt. Ergänzend dazu zeigt Abb. 53 die berechneten Mittelwerte für die ausgewählten Beispielregionen mit Wertstofftonne und die Referenzgebiete ohne Wertstofftonne im Vergleich.

Die im durchgeführten Vergleich höchsten Erfassungsquoten werden im Bezirk Neunkirchen erreicht, denn hier liegen die Quoten für alle Verpackungsabfälle über 90 %. Die höchste Quote wird hier mit 97,2 % für Papierverpackungen erreicht.

Für die Stadt Leipzig ergibt sich folgende Reihung der Erfassungsquoten, beginnend mit der höchsten: Papierverpackungen, LVP, Glasverpackungen und Metallverpackungen. Die erreichten Quoten in Leipzig liegen allesamt über den Mittelwerten der Referenzgebiete. Auch hier wird die höchste Quote für die getrennte Erfassung von Papierverpackungen mit 93,7 % erreicht.

Bei Betrachtung der erreichten Erfassungsquoten für die Stadt Berlin liegt jene für LVP über den Mittelwerten der Referenzgebiete. Die Quoten für Papier- und Glasverpackungen liegen unter den berechneten Mittelwerten. Für die Fraktion Metallverpackungen kann aufgrund nicht vorliegender Daten keine Aussage getroffen werden. Die höchste Quote mit 69,8 % wird für Papierverpackungen erreicht.

Für die Stadt Hamburg liegen die Erfassungsquoten für Metalle, Papier und LVP über den Mittelwerten der Referenzgebiete. Die Erfassungsquote für Glasverpackungen liegt mit 56,0 % unter dem berechneten Referenzmittelwert von 70,4 %. Auch in Hamburg liegt die Erfassungsquote für Papierverpackungen mit 84,8 % am höchsten.

Für das Sammelsystem der Stadt Karlsruhe konnten, aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit, lediglich Quoten für Papierverpackungen und Leichtverpackungen berechnet werden. Mit einer Erfassungsquote für LVP von 67,4 % liegt die Stadt Karlsruhe mit diesem Wert im Vergleich über allen Regionen ohne Wertstofftonne.

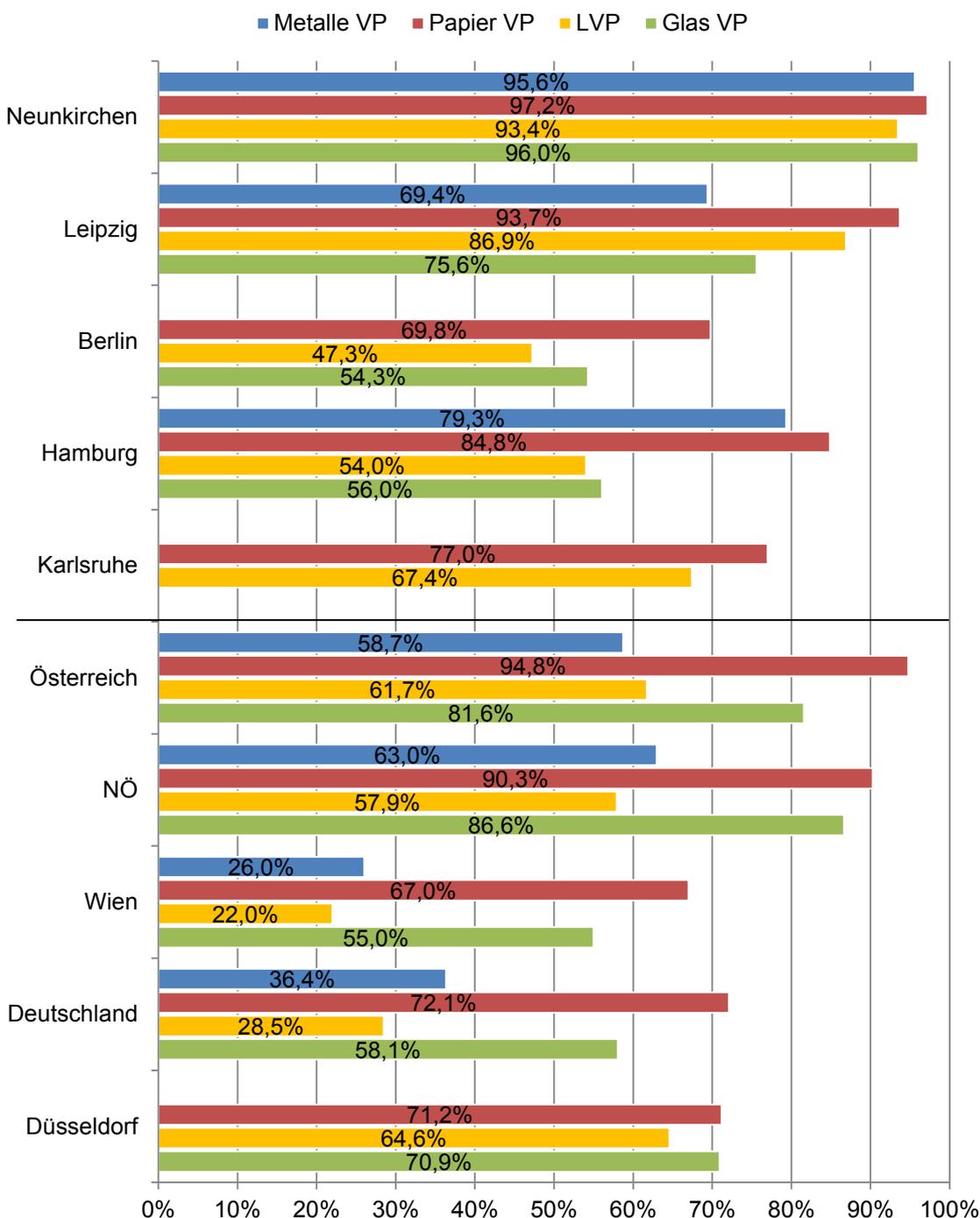


Abb. 52: Zusammenfassende Übersicht zum Vergleich der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSV ERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE &

PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013)

Bei Betrachtung der berechneten Mittelwerte für die Erfassungsquoten in Abb. 53 zeigt sich, dass die ausgewählten Beispielregionen im Vergleich zu den Referenzgebieten im Mittel höhere Erfassungsquoten aufweisen.

Bezogen auf die Erfassungsquoten für Metallverpackungen liegen die Regionen mit Wertstofftonne mit rund 81 % um rund 35 % über den Mittelwerten der Regionen ohne Wertstofftonne. Für Papierverpackungen liegt die Erfassungsquote im Durchschnitt bei rund 85 % in den Regionen mit Wertstofftonne und somit um rund 5 % über dem Referenzmittelwert. In Bezug auf LVP liegt der Mittelwert der Beispielregionen mit Wertstofftonne bei 69,8 %, wohingegen die Referenzgebiete im Mittel einen Wert von 46,9 % erreichen. Daraus ergibt sich eine Differenz von rund 23 %. Bei Betrachtung der Erfassungsquoten für Glasverpackungen ergibt sich der geringste Unterschied im Vergleich mit nur 0,1 %.

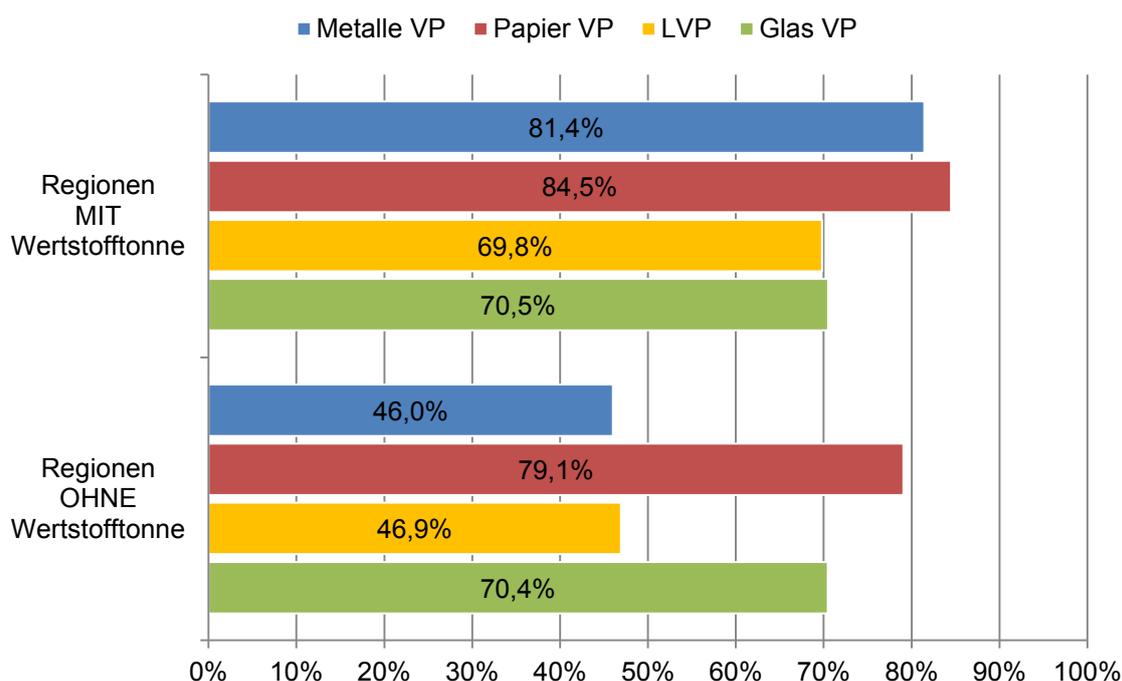


Abb. 53: Berechnete Mittelwerte für die ausgewählten Beispielregionen mit Wertstofftonne und die Referenzgebiete ohne Wertstofftonne zum Vergleich der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013)

Die in der vorliegenden Arbeit ausgewählten Projekte zur Wertstofftonne weisen im Vergleich zu den gewählten Referenzgebieten – Österreich, Niederösterreich, Wien, Deutschland und Düsseldorf, zusammenfassend klare Vorteile bezüglich der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle auf. Bei Berechnung eines Mittelwerts über alle Verpackungsabfälle hinweg, erreichen die Beispielregionen eine Erfassungsquote von 76,6 %. Jene in den Referenzgebieten liegt mit 60,6 % um rund 16 % darunter.

In der Grünen Tonne im Bezirk Neunkirchen werden im Vergleich zu den restlichen vier Regionen mit Wertstofftonne, die meisten Stoffgruppen erfasst. Außerdem liegen die Erfassungsquoten für die betrachteten Verpackungsabfallfraktionen alle über 90 % und somit deutlich über jenen der anderen Regionen mit Wertstofftonne. Deshalb ist in Abb. 54 der Mittelwertvergleich zwischen Regionen mit und ohne Wertstofftonne diesmal ohne den Bezirk Neunkirchen dargestellt. Dabei fällt der prozentuelle Unterschied zwischen Regionen mit und jenen ohne Wertstofftonne geringer aus. In Bezug auf Glasverpackungen erreichen die Regionen ohne Wertstofftonne im Vergleich sogar eine höhere Erfassungsquote als die Gebiete mit Wertstofftonne.

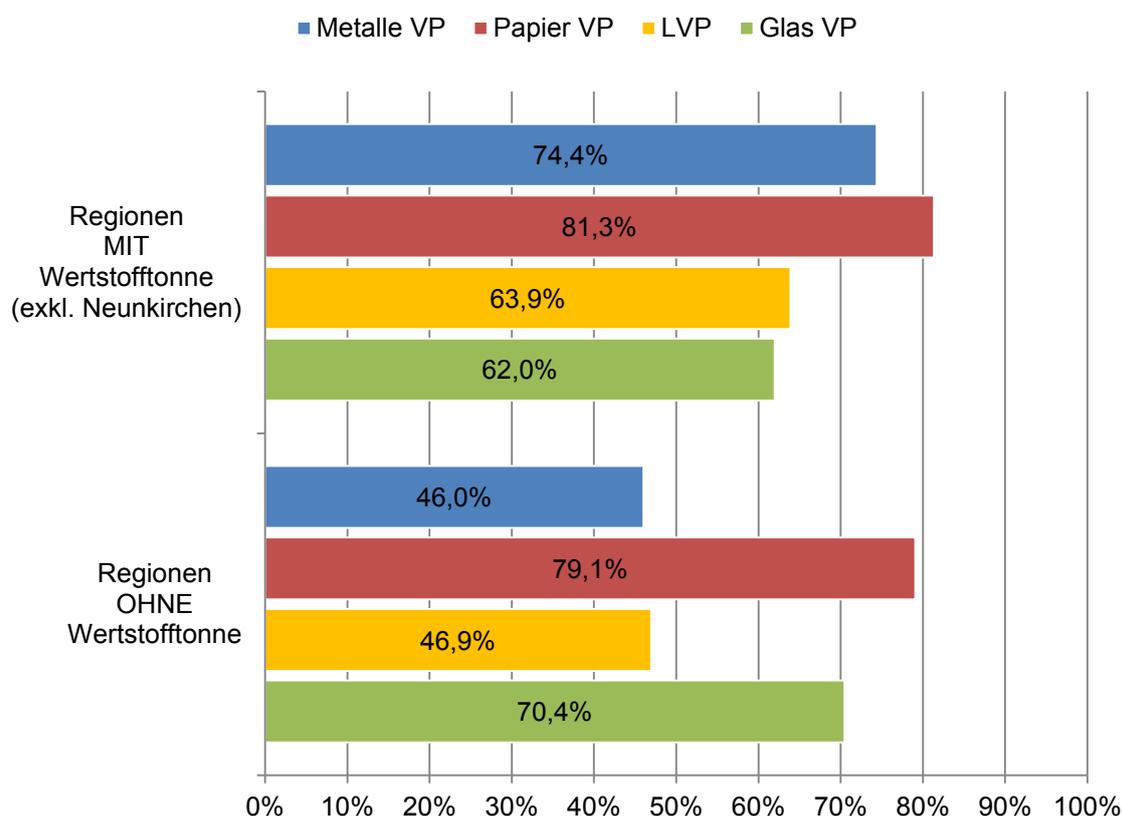


Abb. 54: Berechnete Mittelwerte für die ausgewählten Beispielregionen mit Wertstofftonne, exkl. Neunkirchen und die Referenzgebiete ohne Wertstofftonne zum Vergleich der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle (Eigene Darstellung nach SHC, 2013; SENATSVORWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013)

6.2 Stoffliche Verwertung

Abb. 55 zeigt die Quoten der stofflichen Verwertung für die Grüne Tonne im Bezirk Neunkirchen, sowie für die Wertstofftonne in den Städten Berlin und Hamburg. Dem gegenüber stehen die stofflichen Verwertungsquoten für LVP für Österreich, Deutschland und Europa. In Bezug auf die Regionen mit Wertstofftonne wurden die Städte Leipzig und Karlsruhe aufgrund der mangelnden Datenverfügbarkeit nicht in diesen Vergleich miteinbezogen.

Der höchste Wert für die Quote der stofflichen Verwertung wird in Hamburg mit 61 % erreicht, gefolgt vom Bezirk Neunkirchen mit 60 %. Im Vergleich der Referenzwerte erzielt Deutschland, mit 50 % stofflicher Verwertung der Kunststoffverpackungen, die höchste Quote. Bei Berechnung des Mittelwerts der stofflichen Verwertungsquoten ergibt sich für die Regionen mit Wertstofftonne ein Wert von 54 %. Dem gegenüber erreichten die Referenzwerte Österreich, Deutschland und Europa im Mittel eine stoffliche Verwertungsquote von rund 40 % für Kunststoffverpackungen.

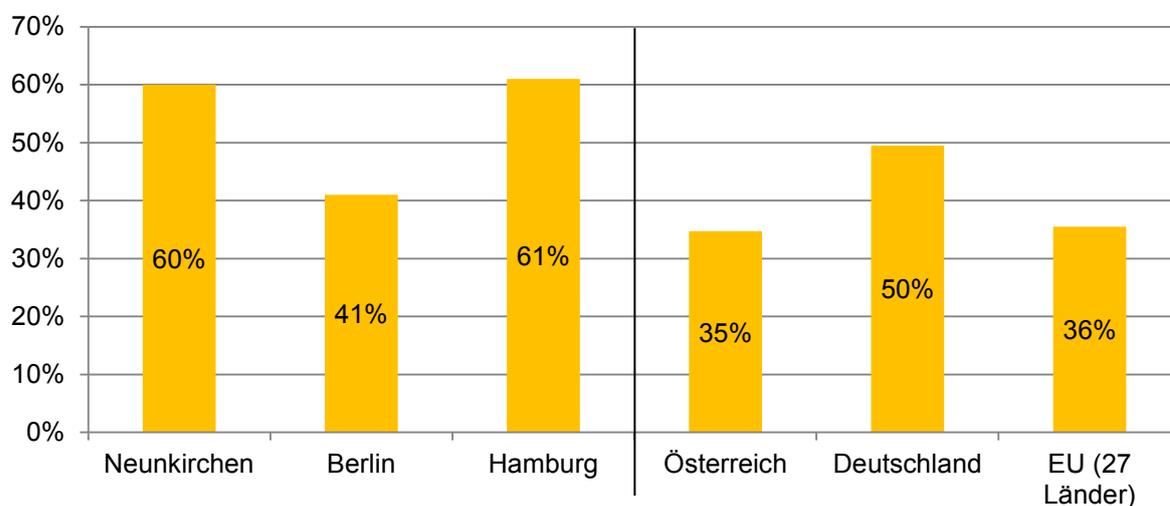


Abb. 55: Quoten der stofflichen Verwertung der Grüne Tonne Neunkirchen, Berliner und Hamburger Wertstofftonne im Vergleich zu Referenzwerten für Kunststoffverpackungen für Österreich, Deutschland und Europa (Eigene Darstellung nach HETTLINGER, 2015b; SENATSVORWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; EUROPÄISCHE UNION, 2015b)

Bei Betrachtung der in Abb. 55 dargestellten stofflichen Verwertungsquoten lässt sich jedoch eine Tendenz feststellen. Denn im Vergleich zur stofflichen Verwertungsquote der Europäischen Union erreichen alle drei Regionen mit Wertstofftonne einen klar höheren Wert. Bei Betrachtung der stofflichen Verwertungsquote der Grüne Tonne Neunkirchen im Vergleich zu Gesamt Österreich, liegt diese um 25 % höher. In Bezug auf Deutschland und die deutschen Projekte der Wertstofftonne, liegt Berlin 9 % unter dem deutschen Durchschnitt, Hamburg jedoch 11 % darüber.

Nachdem nicht für alle ausgewählten Beispielregionen Daten zu den stofflichen Verwertungsquoten eruiert werden konnten, kann keine allgemeingültige und eindeutige Aussage dazu getroffen werden, welchen Einfluss die Einführung einer Wertstofftonne tatsächlich auf die Rate der stofflichen Verwertung hat.

Bei Betrachtung der stofflichen Verwertungsquoten für Kunststoffverpackungen, siehe Abb. 56, für Österreich, Deutschland und die Europäische Union ist ein

kontinuierlicher Anstieg der Quoten zu erkennen. Dies gründet unter anderem in der Verbesserung der Sortiertechnologien, die eine immer effizienter werdende Auftrennung des Abfallstromes ermöglichen. Zudem spielen hier Entwicklungen auf den Rohstoffmärkten eine Rolle, denn für immer mehr aus dem Abfall gewonnene Sortierfraktionen findet sich ein Absatzmarkt. Auch die Verknappung natürlicher Ressourcen hat Einfluss auf die stoffliche Verwertung von Abfällen.

Wichtige Faktoren in Bezug auf das mögliche Potential der stofflichen Verwertung sind die Fragen nach der Rentabilität und vor allem nach der Sinnhaftigkeit. Denn Maßnahmen und Aufwände zur Steigerung der stofflichen Verwertungsquote müssen immer in Relation zum erreichbaren Nutzen stehen.

Mit hohen Investitionen in die Verbesserung der Sortieranlage kann nach HETTLINGER (2015b) eine Steigerung der stofflichen Verwertungsquote auf bis zu 90 % erreicht werden. Diese finanziellen Aufwände stehen allerdings in keinerlei Relation zum erreichbaren Mehrnutzen und sind somit ökonomisch zum aktuellen Zeitpunkt nicht umsetzbar.

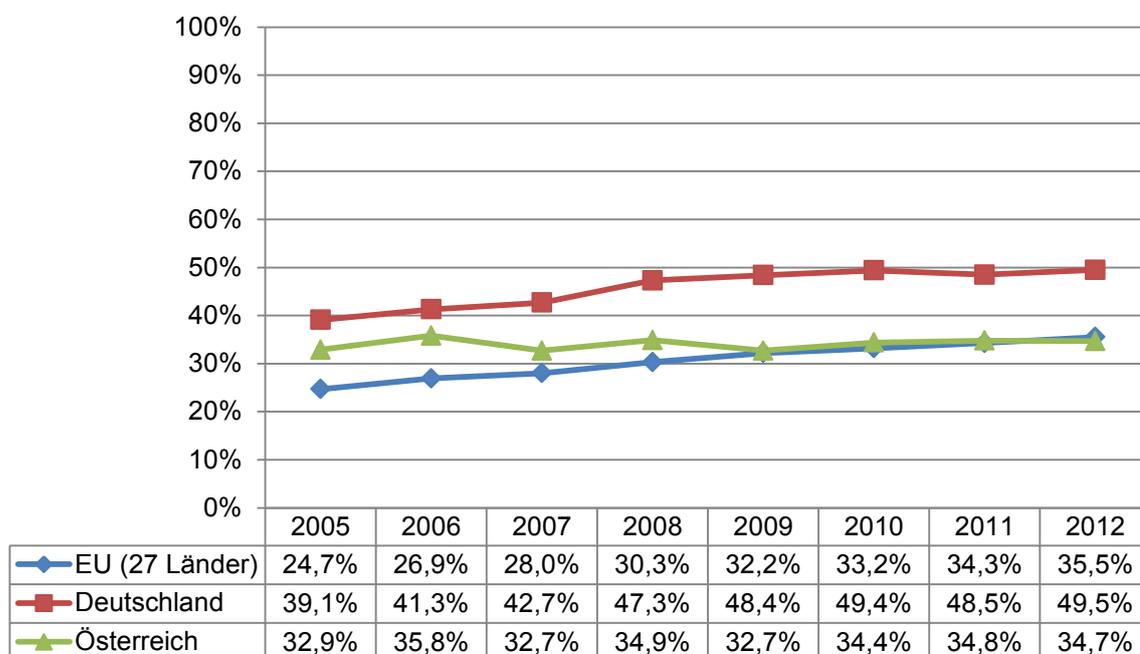


Abb. 56: Stoffliche Verwertungsquoten für Kunststoffverpackungen 2005-2012 (Eigene Darstellung nach EUROPÄISCHE UNION, 2015b)

6.3 Schlussfolgerung

In den Städten Leipzig, Berlin und Hamburg, in denen der Einführung der Wertstofftonne ein wissenschaftlich begleiteter Pilotversuch vorangegangen ist, konnten die Sammelmengen in einer Schwankungsbreite von 3,9-7,2 kg/E*a gesteigert werden. Durch diese Steigerung der über die Wertstofftonne erfassten Mengen, konnte eine Reduktion der Restabfallmengen erzielt werden.

Das durchschnittliche spezifische Abfallaufkommen der Städte Leipzig, Berlin und Hamburg beläuft sich auf rund 389 kg/E*a. Demnach entsprechen die prozentuellen Zuwächse durch die Einführung der Wertstofftonne rund 2 % des gesamten Abfallaufkommens.

Bei Betrachtung der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle weisen die ausgewählten Beispiele für die Wertstofftonne im Vergleich zu den Referenzgebieten höhere Werte auf. Einzig in Bezug auf Glasverpackungen ergibt sich aus dem Vergleich kein Unterschied zwischen Regionen mit bzw. ohne Wertstofftonne. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Einführung einer Wertstofftonne und der Steigerung der Erfassungsquoten kann aufgrund der geringen Anzahl an Vergleichsgebieten (n = 5) nicht nachgewiesen werden.

Die ständige Weiterentwicklung der Sortiertechnologien und vor allem der vermehrte Einsatz sensorgestützter Sortiertechniken, garantiert eine immer effizienter werdende Trennung des Abfallgemisches in die einzelnen Fraktionen. Durch diese Steigerung der sortenreinen Sortierprodukte kann der Anfall von Sortierresten minimiert werden und somit die Rate der stofflichen Verwertung gesteigert werden.

Die stoffliche Verwertungsquote kann prinzipiell, mit enorm hohem Einsatz an finanziellen Mitteln, bis auf über 90 % gesteigert werden. Dabei allerdings besteht absolut keine Relation mehr zwischen Aufwand und Nutzen. Somit ist diese Steigerung bei realistischer Bewertung der Effizienz und Effektivität der stofflichen Verwertung zur Zeit wirtschaftlich nicht umsetzbar.

Zusätzlich zum System der Wertstofftonne existieren weitere Ansätze für alternative Sammelsysteme, beispielsweise das System „Sack im Behälter“ Iserlohn und die Trockene und Nasse Tonne Kassel. Diese beiden Projekte wurden im Rahmen eines Pilotversuchs erprobt, jedoch nie in die Praxis umgesetzt. Die Implementierung beider Systeme scheiterte an vergabe-rechtlichen und organisatorischen Problemen, die sich aus der gemeinsamen Erfassung von Abfällen unterschiedlicher Zuständigkeiten ergeben.

7. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verwertung und Beseitigung von Siedlungsabfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen in Österreich [Masse%] 1989-2013 (BMLFUW, 2015) ..2	
Abb. 2: Aktuelle Sammelbehälter der MA 48 in Wien (MA 48, s.a.)	6
Abb. 3: LVP-Sammlung 2007 - Sammelfraktionen nach Regionen (BAUMGARTNER, 2009).....	7
Abb. 4: Vergleichende Darstellung der Erfassung und Verwertung von Verpackungsabfällen in Österreich und Deutschland (REH et al., 2014)	8
Abb. 5: Getrennt erfasste LVP und Metallverpackungen in Österreich – Fraktionen zur Verwertung in Gew.-%	9
Abb. 6: Getrennt erfasste LVP in Deutschland – Fraktionen zur Verwertung in Gew.-%.....	10
Abb. 7: Stoffflüsse des Sammelsystems im Bezirk Neunkirchen (Eigene Darstellung nach AWW NEUNKIRCHEN, 2011).....	17
Abb. 8: Zusammensetzung der Grauen Tonne im Bezirk Neunkirchen im Jahr 2014 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015)	19
Abb. 9: Massenzusammensetzung Grüne Tonne 2014 (Eigene Darstellung nach FHA - GESELLSCHAFT FÜR CHEMISCH-TECHNISCHE ANALYTIK GMBH, 2014)	21
Abb. 10: Gegenüberstellung der Zusammensetzung der LVP-Sammlung und der Gelbe Tonne ^{plus} -Sammlung der Stadt Leipzig (Eigene Darstellung nach LANGEN et al., 2008)	23
Abb. 11: Zusammensetzung des Restabfalls der Stadt Leipzig 2013 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach SHC, 2014)	24
Abb. 12: Feste Siedlungsabfälle Stadt Leipzig (ohne Gewerbeabfälle) - Gegenüberstellung 2003 - 2011 (Eigene Darstellung nach ZAW, 2004, 2012)..	25
Abb. 13: Sammelsystem Gelbe Tonne ^{plus} - erfasste Stoffe (ALBA GROUP PLC & CO. KG, 2006).....	27
Abb. 14: Gegenüberstellung der Zusammensetzung der LVP-Sammlung und der Gelbe Tonne ^{plus} -Sammlung der Stadt Berlin (Eigene Darstellung nach LANGEN et al., 2008)	28
Abb. 15: Wertstofftonne Berlin ersetzt Gelbe Tonne ^{plus} und Orange Box (ALBA GROUP PLC & CO. KG, 2012).....	29
Abb. 16: Abfallaufkommen Berlin 2013 (Eigene Darstellung nach SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014).....	30
Abb. 17: Zusammensetzung des Restabfalls der Stadt Berlin 2014 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach BSR, 2015).....	31
Abb. 18: Erfasste Fraktionen der Hamburger Wertstofftonne (Eigene Darstellung nach WERT WERTSTOFF-EINSAMMLUNG GMBH, STADTREINIGUNG HAMBURG, 2011).....	33

Abb. 19: Zusammensetzung Hamburger Wertstofftonne, Sortierversuch Februar 2015 (Eigene Darstellung nach STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a).....	34
Abb. 20: Entwicklung der Sammelmengen der Hamburger Wertstofftonne - LVP und StNVP – 2010-2014 (Eigene Darstellung nach STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2013; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015).....	35
Abb. 21: Zusammensetzung des Restabfalls in der Stadt Hamburg im Jahr 2013 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT-UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014)	36
Abb. 22: Wertstoffaufkommen Stadt Karlsruhe [t] und [kg/E*a] (Eigene Darstellung nach AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014).....	39
Abb. 23:Zusammensetzung des Restabfalls in der Stadt Karlsruhe im Jahr 2013 in kg/E*a (Eigene Darstellung nach AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014)	40
Abb. 24: Prozessschritte System Sack im Behälter (INFA und IFEU, 2009)	42
Abb. 25: Vergleich spezifischer Abfallmengen - Restabfall, LVP, PPK, Gesamt - Ist-Iserlohn (2006) und Phase I (2007) (Eigene Darstellung nach INFA und IFEU, 2009).....	43
Abb. 26: Ergebnisse der LVP-Analysen im Jahr 2007 (Eigene Darstellung nach INFA und IFEU, 2009).....	44
Abb. 27: Gegenüberstellung des Sackverbrauchs Phase I und Phase II (Eigene Darstellung nach IFEU und INFA, 2009).....	45
Abb. 28: Spezifische Abfallmengen - Restabfall, LVP, PPK - aus dem SiB-Modellversuch (Eigene Darstellung nach IFEU und INFA, 2008; IFEU und INFA, 2009; IFEU und INFA, 2010).....	46
Abb. 29: Systemvergleich - Ist-Zustand und System Nasse und Trockene Tonne Kassel (SCHRÖER, 2007)	48
Abb. 30: Verwertungswege der nassen und trockenen Abfälle (SCHRÖER, 2007)..	49
Abb. 31: Gegenüberstellung der Sammelmengen der LVP-Sammlung vor und nach Systemumstellung für die Beispielregionen Leipzig, Berlin und Hamburg (Eigene Darstellung nach LANGEN et al., 2008; STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2013; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015)	53
Abb. 32: Entwicklung der Restabfallmengen vor und nach Systemumstellung für die Beispielregionen Leipzig, Berlin und Hamburg (Eigene Darstellung nach ZAW, 2004, 2015; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2004, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2004, 2015).....	54
Abb. 33: Gegenüberstellung der Restabfallmengen und der Mengen aus der Gelbe Tonne ^{plus} /Wertstofftonne für die Städte Leipzig, Berlin und Hamburg (Eigene Darstellung nach ZAW, 2015; STADTREINIGUNG LEIPZIG, 2015b; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN,	

2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015).....	55
Abb. 34: Vergleich der Erfassungsquoten für Metalle VP für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014)	56
Abb. 35: Vergleich der Erfassungsquoten für Papier VP für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013).....	57
Abb. 36: Vergleich der Erfassungsquoten für LVP für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013).....	58
Abb. 37: Vergleich der Erfassungsquoten für Altglas VP für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013).....	59
Abb. 38: Abfallhierarchie gemäß Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (Eigene Darstellung nach § 1 Abs. 2 AWG 2002).....	60
Abb. 39: Entwicklung der stofflichen Verwertungsquote für Verpackungsabfälle in Österreich 2002-2012 (Eigene Darstellung nach EUROPÄISCHE UNION, 2015b).....	61

Abb. 40: Entwicklung der stofflichen Verwertungsquote für Verpackungsabfälle in Deutschland 2002-2012 (Eigene Darstellung nach EUROPÄISCHE UNION, 2015b).....	62
Abb. 41: Gegenüberstellung der stofflichen Verwertungsquoten für Verpackungsabfälle für Österreich, Deutschland und die Europäische Union im Jahr 2012 (Eigene Darstellung nach EUROPÄISCHE UNION, 2015b)	63
Abb. 42: Schematische Funktionsdarstellung eines Wirbelstromabscheiders, Fraktion A: geringer Wert Leitfähigkeit/Dichte, Fraktion B: hoher Wert Leitfähigkeit/Dichte (MARTENS, 2011)	67
Abb. 43: Funktionsweise Überbandmagnet (SOLLAU S.R.O., s.a.c).....	68
Abb. 44: Funktionsweise Trommelmagnet (SOLLAU S.R.O., s.a.a)	68
Abb. 45: Funktionsweise Magnetwalze (SOLLAU S.R.O., s.a.b)	69
Abb. 46: Schematische Funktionsdarstellung eines Schwimm-Sink-Scheiders (MARTENS, 2011)	69
Abb. 47: Aufbau eines optischen Sortierers - Beispielskizze eines Rutschen-Typs (GSCHAIDER und HUBER, 2008).....	71
Abb. 48: Schematische Darstellung der LVP-Sortierung (Eigene Darstellung nach BÜNEMANN et al., 2011 und BÜNEMANN und CHRISTIANI, 2011)	73
Abb. 49: Prozess der mechanischen Auftrennung der Abfälle, OMRIN Technologie (ORGAWORLD NEDERLAND BV, s.a.)	74
Abb. 50: Waschprozess, OMRIN Technologie (ORGAWORLD NEDERLAND BV, s.a.).....	75
Abb. 51: Anaerobe Vergärung, OMRIN Technologie (ORGAWORLD NEDERLAND BV, s.a.)	75
Abb. 52: Zusammenfassende Übersicht zum Vergleich der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle für die ausgewählten Beispielregionen und die Referenzsysteme - Niederösterreich, Wien, Deutschland (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013)	79
Abb. 53: Berechnete Mittelwerte für die ausgewählten Beispielregionen mit Wertstofftonne und die Referenzgebiete ohne Wertstofftonne zum Vergleich der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; SHC, 2013; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011;	

SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013)	80
Abb. 54: Berechnete Mittelwerte für die ausgewählten Beispielregionen mit Wertstofftonne, exkl. Neunkirchen und die Referenzgebiete ohne Wertstofftonne zum Vergleich der Erfassungsquoten für Verpackungsabfälle (Eigene Darstellung nach SHC, 2013; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015; OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015; AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014; BMLFUW, 2011; SANTJER, 2015; MA 48, 2012; GELLENBECK et al., 2014; UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF, 2012, 2013).....	81
Abb. 55: Quoten der stofflichen Verwertung der Grüne Tonne Neunkirchen, Berliner und Hamburger Wertstofftonne im Vergleich zu Referenzwerten für Kunststoffverpackungen für Österreich, Deutschland und Europa (Eigene Darstellung nach HETTLINGER, 2015b; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; EUROPÄISCHE UNION, 2015b)	82
Abb. 56: Stoffliche Verwertungsquoten für Kunststoffverpackungen 2005-2012 (Eigene Darstellung nach EUROPÄISCHE UNION, 2015b)	83

8. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bewertung der Materialgruppen zur Erfassung in einer trockenen Wertstofftonne (Eigene Darstellung nach BÜNEMANN et al., 2011; BÜNEMANN und CHRISTIANI, 2011).....	12
Tab. 2: Übersicht der betrachteten Regionen - Miterfasste Stoffgruppen, Regelbetrieb (Eigene Darstellung nach BÜNEMANN et al., 2011; BECKER, 2009; HASUCHA, 2006; WIECZOREK, 2012; REINHALTEVERBAND GRÜNE TONNE GMBH, 2007).....	13
Tab. 3: Allgemeine Informationen zum Verwaltungsbezirk Neunkirchen und zum Sammelsystem der Grüne Tonne (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, s.a.; ⁽²⁾ STATISTIK AUSTRIA, 2015; ⁽³⁾ REINHALTEVERBAND GRÜNE TONNE GMBH, 2007; ⁽⁴⁾ TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015).....	14
Tab. 4: Übersicht Trennordnung AWV Neunkirchen (Eigene Darstellung nach AWV NEUNKIRCHEN, 2011).....	15
Tab. 5: Zusammensetzung der Grünen und Grauen Tonne im Jahr 2014 (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015)	18
Tab. 6: Getrennt erfasste Verpackungsmengen und deren Anteile im Restabfall [kg/E*a], Erfassungsquoten (Eigene Darstellung nach TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015).....	20
Tab. 7: Gegenüberstellung der Sammelmengen AWV Neunkirchen und Gesamt Niederösterreich (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015 und ⁽²⁾ AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2014).....	20
Tab. 8: Allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Leipzig und zum Sammelsystem der Gelbe Tonne ^{plus} (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ STADT LEIPZIG AMT FÜR STATISTIK UND WAHLEN, 2014; ⁽²⁾ STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN, 2015; ⁽³⁾ OETJEN-DEHNE, 2009; ⁽⁴⁾ STADTREINIGUNG LEIPZIG, 2015a)	22
Tab. 9: Getrennterfassung von Verpackungsabfällen, Aufkommen im Restabfall, Abfallpotential und Erfassungsquote in der Stadt Leipzig (Eigene Darstellung nach SHC, 2013).....	24
Tab. 10: Allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Berlin und zum Sammelsystem der Wertstofftonne Berlin (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2015; ⁽²⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN et al., 2014; ⁽³⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014).....	25
Tab. 11: Getrennterfassung von Verpackungsabfällen, Aufkommen im Restabfall, Abfallpotential und Erfassungsquote in der Stadt Berlin (Eigene Darstellung nach SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; BSR, 2015).....	31

Tab. 12: Allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Hamburg und zum Sammelsystem der Hamburger Wertstofftonne (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2015b; ⁽²⁾ STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2015a; ⁽³⁾ SIECHAU, 2011; ⁽⁴⁾ STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015c)	32
Tab. 13: Getrennterfassung von Verpackungsabfällen, Aufkommen im Restabfall, Abfallpotential und Erfassungsquote in der Stadt Hamburg (Eigene Darstellung nach OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH, 2014; BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG, 2015).....	36
Tab. 14: Allgemeine Informationen zum Stadtgebiet Karlsruhe und zum Sammelsystem der Wertstofftonne Karlsruhe (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ STADT KARLSRUHE AMT FÜR STADTENTWICKLUNG, 2015; ⁽²⁾ KRANERT und SIHLER, 2008; ⁽³⁾ MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2015).....	37
Tab. 15: Sammelsystem Stadt Karlsruhe (Eigene Darstellung nach STADT KARLSRUHE, 2015)	38
Tab. 16: Getrennterfassung von Verpackungsabfällen, Aufkommen im Restabfall, Abfallpotential und Erfassungsquote in der Stadt Karlsruhe im Jahr 2013 (Eigene Darstellung nach AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE, 2014).....	40
Tab. 17: Projektphasen des Modellversuchs SiB Iserlohn - zeitlicher Ablauf, Ziele, Projektgebiet und -teilnehmer (Eigene Darstellung nach IFEU und INFA, 2008)	41
Tab. 18: Spezifische Abfallmengen – Restabfall, LVP, PPK, Elektrokleingeräte, Gesamtmenge – aus dem SiB-Modellversuch (Eigene Darstellung nach IFEU und INFA, 2008; IFEU und INFA, 2009; IFEU und INFA, 2010).....	46
Tab. 19: Gegenüberstellung der betrachteten Modellversuche (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, s.a.; ⁽²⁾ STATISTIK AUSTRIA, 2015; ⁽³⁾ REINHALTERVERBAND GRÜNE TONNE GMBH, 2007; ⁽⁴⁾ TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; ⁽⁵⁾ TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH, 2015; ⁽⁶⁾ STADT LEIPZIG AMT FÜR STATISTIK UND WAHLEN, 2014; ⁽⁷⁾ STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN, 2015; ⁽⁸⁾ OETJEN-DEHNE, 2009; ⁽⁹⁾ STADTREINIGUNG LEIPZIG, 2015a; ⁽¹⁰⁾ LANGEN et al., 2008; ⁽¹¹⁾ AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2015; ⁽¹²⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN et al., 2014; ⁽¹³⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; ⁽¹⁴⁾ STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2015b; ⁽¹⁵⁾ STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2015a; ⁽¹⁶⁾ SIECHAU, 2011; ⁽¹⁷⁾ STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015c; ⁽¹⁸⁾ STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; ⁽¹⁹⁾ STADT KARLSRUHE AMT FÜR STADTENTWICKLUNG, 2015; ⁽²⁰⁾ KRANERT und SIHLER, 2008; ⁽²¹⁾ MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2015; ⁽²²⁾ ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEB DES LANDKREISES KARLSRUHE, 2014) 51	51

Tab. 20: Quoten der stofflichen Verwertung für die ausgewählten Projekte (Eigene Darstellung nach ⁽¹⁾ HETTLINGER, 2015b; ⁽²⁾ SHC, 2014; ⁽³⁾ SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, 2014; ⁽⁴⁾ STADTREINIGUNG HAMBURG, 2015a; ⁽⁵⁾ ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEB DES LANDKREISES KARLSRUHE, 2014)	64
Tab. 21: Einteilung der Sortierprozesse (Eigene Darstellung nach LÖHR et al., 1995)	65
Tab. 22: Typische Anwendungsgebiete der sensorgestützten Sortierung (Eigene Darstellung nach PRETZ und JULIUS, 2008)	72
Tab. 23: Gewonnene Fraktionen nach Anwendung der OMRIN Technologie - Anteile und Verwendungswege (Eigene Darstellung nach ORGAWORLD NEDERLAND BV, s.a.)	76

9. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Al	Aluminium
AWV	Abfallwirtschaftsverband
BS	Bringsystem
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Cd	Cadmium
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
E/km ²	Einwohner je Quadratkilometer, Einwohnerdichte
EBS	Ersatzbrennstoff
EEAG	Elektro- und Elektronik-Altgeräte
EKG	Elektrokleingeräte
EPS	Expandiertes Polystyrol, Polystyrol-Hartschaum, Styropor
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
Fe	Eisen
ggf.	gegebenenfalls
GVK	Getränkeverbundkarton
GVP	Getränkeverpackung
Hg	Quecksilber
HS	Holsystem
kg/E*a	Kilogramm pro Einwohner und Jahr
KST	Kunststoff
LVP	Leichtverpackungen
MA	Magistratsabteilung
MET	Metall
MHKW	Müllheizkraftwerk
MKF	Mischkunststofffraktion
MVA	Müllverbrennungsanlage
NE	Nichteisen
NIR	Nahinfrarot
NTT	Nasse und Trockene Tonne
NVP	Nichtverpackungen
örE	öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger

PA	Polyamide
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
PPK	Papier, Pappe, Kartonagen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
SKF	Sortenreine Kunststofffraktion
StNVP	Stoffgleiche Nichtverpackungen
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
VIS	visible spectrum (für den Menschen sichtbares Licht)
VP	Verpackungen
z.B.	zum Beispiel

10. Literaturverzeichnis

ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEB DES LANDKREISES KARLSRUHE: Abfallstatistik 2013, 2014. Verfügbar in: https://www.landkreis-karlsruhe.de/media/custom/1636_5877_1.PDF?1412154326 [Abfrage am 03.12.2015].

ABGEORDNETENHAUS BERLIN: Mitteilung zur Kenntnisnahme - Abfallwirtschaftskonzept für das Land Berlin - Drs 15/5528 - Schlussbericht. Drucksache 16/0323, 2007. Verfügbar in: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/abfall/konzept_berlin/download/bericht_AWK.pdf [Abfrage am 26.08.2015].

ALBA GROUP PLC & CO. KG: ALBA Gelbe Tonne plus - Die Tonne für alle trockenen Wertstoffe, 2006. Verfügbar in: http://www.berlinovo.de/sites/default/files/media/ALBA_Gelbe_Tonne_plus.pdf [Abfrage am 20.05.2015].

ALBA GROUP PLC & CO. KG: Bilddatenbank - Wertstofftonne, 2012. Verfügbar in: <http://www.alba.info/unternehmen/mediathek/bilddatenbank/view//test/88.html?type=234> [Abfrage am 28.09.2015].

ALTSTOFF RECYCLING AUSTRIA AG (ARA): Leistungsreport 2014, 2015. Verfügbar in: http://www.ara.at/uploads/tx_wxfilelist/ARA_Leistungsreport2014_WEB_A4.pdf [Abfrage am 06.10.2015].

AMLINGER F., PEYR S., HILDEBRANDT U., MÜSKEN J., CUHLS C., CLEMENS J.: Stand der Technik der Kompostierung - Grundlagenstudie. Hg. v. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), 2005.

AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG: Statistiken für Niederösterreich - Statistische Daten Bezirk Neunkirchen, s.a. Verfügbar in: http://www01.noel.gv.at/scripts/cms/ru/ru2/stat_ssi.asp?NR=318 [Abfrage am 11.11.2015].

AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG: Niederösterreichischer Abfallwirtschaftsbericht 2013. St. Pölten, 2014.

AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT STADT KARLSRUHE: Abfallwirtschaftskonzept 2014 - Der Stadt Karlsruhe. Stand: 31. Dezember 2014, 2014.

AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG: Gebiet 2014 - Berlin, 2015. Verfügbar in: <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Statistiken/inhalt-statistiken.asp> [Abfrage am 12.11.2015].

ARGE ABFALLVERMEIDUNG GMBH: Fehlwürfe in der kommunalen Abfallwirtschaft - Tolerierbar oder unzumutbar? Abfallwirtschaftsforum 2006 - Tagungsdokumentation nach dem Stand der ExpertInnenmeinungen. Forum Abfallwirtschaft 2006. Graz, 2005.

ATUS GMBH: Gutachten zur Einführung der Wertstofftonne in der Stadt Braunschweig, 2012.

ATUS GMBH, INSTITUT FÜR ABFALL, ABWASSER UND INFRASTRUKTUR-MANAGEMENT GMBH (INFA): Wissenschaftliche Begleitung des Versuches

"Hamburger Wertstofftonne" - Endbericht im Auftrag der Stadtreinigung Hamburg, 2009.

AWV NEUNKIRCHEN: Biotonne, 2011. Verfügbar in:

http://195.58.166.60/noeav/user/vb_nk/dokumente/Informationsveranstaltung_Biotonne_05012011_sp2.pdf [Abfrage am 15.04.2015].

BAUMGARTNER H.: Wertstoffsammlung - Trends und Herausforderungen. AEVG Fachtagung 29.01.2009, 2009.

BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (LfU): Sortierung von Abfällen aus Haushalten, 2005. Verfügbar in:

http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/doc/verwertung/sortierung_abfaelle.pdf [Abfrage am 02.12.2015].

BECKER G.: Modellversuche zu alternativen Erfassungssystemen - eine aktuelle Übersicht. In: Urban und Halm (Hrsg.), Kasseler Modell - mehr als Abfallentsorgung. Kasseler Wertstofftage. Kassel: kassel university press GmbH (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik / UNIK-AT, 9), S. 49–56, 2009.

BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG: Statistik Siedlungsabfälle 2003, 2004. Verfügbar in:

<http://www.hamburg.de/contentblob/137020/data/statistik-siedlungsabfall-2003.pdf> [Abfrage am 13.11.2015].

BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG: Statistik Siedlungsabfälle 2012, 2013. Verfügbar in:

<http://www.hamburg.de/contentblob/4041840/data/statistik-siedlungsabfall-2012.pdf> [Abfrage am 02.10.2015].

BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT FREIE HANSESTADT HAMBURG: Statistik Siedlungsabfälle 2014, 2015. Verfügbar in:

<http://www.hamburg.de/contentblob/4502738/data/statistik-siedlungsabfall-2014.pdf> [Abfrage am 20.08.2015].

BERLINER STADTREINIGUNGSBETRIEBE (BSR): Stellungnahme der BSR zur Anhörung - Wohnortnahe Abfallsammlung über integrierte Wertstofftonnen:

Praxiserfahrung - ökologische Bilanzen - rechtliche Bewertungen, 2010. Verfügbar in: <http://www.parlament-berlin.de/ados/16/GesUmVer/vorgang/guv16-0385-St-BSR.pdf> [Abfrage am 16.11.2015].

BERLINER STADTREINIGUNGSBETRIEBE (BSR): Hausmülluntersuchung 2014 - Die Abfallzusammensetzung, 2015.

BERS C.: Pilotprojekt SiB ("Sack im Behälter") geht zu EndeZWECKVERBAND FÜR ABFALLBESEITIGUNG ISERLOHN, 2009. Verfügbar in: <http://news.zfa-iserlohn.com/2009/12/29/pilotprojekt-sib-sack-im-behaelter-geht-zu-ende/> [Abfrage am 25.06.2015].

BRENCK A., EHRMANN H., KRANERT M., CLAUß D., BERECHET M., ESCALANTE N., BECKERS T., GRENZ M., SCHÜTTIG W.: Ökonomische und ökologische Bewertung der getrennten Sammlung von verwertbaren Abfällen aus privaten Haushalten sowie vergleichbaren Anfallstellen - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, 2009.

Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002) - AWG 2002 (idF. v. 05.11.2015), BGBl. I Nr. 102/2002.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011. Wien, 2011.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2014. Wien, 2015.

BÜNEMANN A., CHRISTIANI J.: Die "Idealzusammensetzung" der Wertstofftonne. cyclos focus Kongress. Berlin, 2011.

BÜNEMANN A., RACHUT G., CHRISTIANI J., LANGEN M., WOLTERS J.: Teilvorhaben 1 - Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne. In: Umweltbundesamt (Hrsg.), Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung, 2011.

DEHOUST G., CHRISTIANI J.: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe - Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkinstrument zur Ressourcenschonung. Hg. v. Umweltbundesamt, 2012. Verfügbar in: <http://www.uba.de/uba-info-medien/4342.html> [Abfrage am 20.08.2015].

DEHOUST G., EWEN C.: Teilvorhaben 3 - Planspiel. In: Umweltbundesamt (Hrsg.), Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung, 2011.

DIE STADTREINIGER KASSEL: Getrennt sammeln, 2010. Verfügbar in: http://www.stadtreiniger.de/fileadmin/pdf/broschuere/SR_Folder_Getrennt_sammeln_P100022web.pdf [Abfrage am 16.05.2015].

DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND (DSD): DSD Sortierhandbuch, 2004. Verfügbar in: http://cleaner-production.de/fileadmin/assets/pdfs/_15_DSD-Sortierhandbuch_01.pdf [Abfrage am 24.07.2015].

EBBING J.: Persönliche Mitteilung vom 12.10.2015.

EIDGENÖSSISCHES DEPARTEMENT FÜR UMWELT, VERKEHR, ENERGIE UND KOMMUNIKATION (UVEK): Faktenblatt - Berechnung der Verwertungsquote von PET-Flaschen, 2013.

EUROPÄISCHE UNION: Den Kreislauf schließen: Kommission verabschiedet ehrgeiziges neues Maßnahmenpaket zur Kreislaufwirtschaft, um die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern, Arbeitsplätze zu schaffen und ein nachhaltiges Wachstum zu erreichen. Europäische Kommission - Pressemitteilung, 2015a. Verfügbar in: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_de.htm [Abfrage am 12.01.2016].

EUROPÄISCHE UNION: Eurostat - Rate der stofflichen Verwertung von Verpackungsabfällen, 2015b. Verfügbar in: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00063&language=de> [Abfrage am 27.11.2015].

FHA - GESELLSCHAFT FÜR CHEMISCH-TECHNISCHE ANALYTIK GMBH: Endbericht zur Durchführung von Trockenmüll-Analysen des Sammelmaterials der Grünen Tonne im Bezirk Neunkirchen für das Kalenderjahr 2014 - Im Auftrag der RHV Grüne Tonne GmbH. Wien, 2014.

FRICKE K., BAHR T., THIEL T., KUGELSTADT O.: Stoffliche oder energetische Verwertung - Ressourceneffizientes Handeln in der Abfallwirtschaft, 2009. Verfügbar

in: <http://www.ggsc-seminare.de/pdf/Fricke-Ressourceneffizientes-Handeln-in-der-Abfallwirtschaft.pdf> [Abfrage am 20.10.2015].

G.U.N.T. GERÄTEBAU GMBH: Mechanische Verfahrenstechnik - Trennverfahren: Klassieren und Sortieren, 2009. Verfügbar in: http://www.gunt.de/download/classifying_sorting_german.pdf [Abfrage am 23.09.2015].

GELLENBECK K., BECKER G., HAMS S.: Erarbeitung von Erfassungsmengen und Recyclingquoten - Dokumentation im Auftrag der Gemeinschaftsinitiative, 2014.

GSCHAIDER H. J., HUBER R.: Neue Entwicklungen in der optischen Sortierung. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Volume 153, Issue 6, S. 217–220, 2008.

HALLER B.: Hamburger machen den meisten Müll. In: Die Welt, 11.09.2012, 2012. Verfügbar in: <http://www.welt.de/regionales/hamburg/article109137746/Hamburger-machen-den-meisten-Muell.html> [Abfrage am 02.12.2015].

HALM G., STREMMER S., SCHIEL N., URBAN A. I., LÖHLE S.: Sammelsystem Nasse und Trockene Tonne Kassel - Hintergründe, Untersuchungen und Ergebnisse. In: Urban und Halm (Hrsg.), Wertstofftonne und mehr ... Auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft. Kassel: kassel university press GmbH (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik / UNIK-AT, 12), S. 49–70, 2011.

HASUCHA T.: Ein Jahr in Berlin: ALBA Gelbe Tonne plus. In: Urban, Halm und Morgan (Hrsg.), Stoffströme der Kreislaufwirtschaft. Kassel: kassel university press GmbH (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik / UNIK-AT, 5), S. 79–84, 2006.

HASUCHA T.: Die ALBA Gelbe Tonne plus in Berlin. In: Urban, Halm und Morgan (Hrsg.), Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft. Abfallwirtschaft ohne Duale Systeme? Kassel: kassel university press GmbH (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik / UNIK-AT, 7), S. 101–110, 2007.

HETTLINGER G.: Persönliche Mitteilung vom 28.04.2015a.

HETTLINGER G.: Persönliche Mitteilung vom 30.10.2015b.

HOLMERTZ S.: Oslo's Colourful Solution to Waste Management, 2015. Verfügbar in: <http://waste-management-world.com/a/oslos-colourful-solution-to-waste-management>.

HUESKENS J.: Sortenreine Wertstoffe mit NIR - Nahinfrarot-Technik in Anwendungen bei der Abfallsortierung. WLB Wasser, Luft und Boden, 50, 5, S. 58–59, 2006.

INSTITUT FÜR ABFALL, ABWASSER UND INFRASTRUKTUR-MANAGEMENT GMBH (INFA), INSTITUT FÜR ENTSORGUNG UND UMWELTECHNIK GMBH (IFEU): Sack im Behälter "SiB" - Modellversuch Iserlohn-Letmathe. Präsentation SiB (2007-2009), Anlass - Versuchsergebnisse 2007 - aktueller Stand, 2009.

INSTITUT FÜR ENTSORGUNG UND UMWELTECHNIK GMBH (IFEU): SiB startet für 10.500 Bürger von Iserlohn-Letmathe, 2007. Verfügbar in: [http://www.ifeu-iserlohn.de/index.php?id=12&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=7&cHash=2e35b6c459](http://www.ifeu-iserlohn.de/index.php?id=12&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=7&cHash=2e35b6c459) [Abfrage am 25.06.2015].

INSTITUT FÜR ENTSORGUNG UND UMWELTECHNIK GMBH (IFEU), INSTITUT FÜR ABFALL, ABWASSER UND INFRASTRUKTUR-MANAGEMENT GMBH (INFA):

- SiB - Modellversuch Iserlohn-Letmathe - Versuchsbericht Phase I (2007).
Projekträger: LOBBE Entsorgung GmbH, 2008.
- INSTITUT FÜR ENTSORGUNG UND UMWELTECHNIK GMBH (IFEU), INSTITUT FÜR ABFALL, ABWASSER UND INFRASTRUKTUR-MANAGEMENT GMBH (INFA):
SiB - Modellversuch Iserlohn-Letmathe - Ergänzungsbericht Phase II (2008).
Projekträger: LOBBE Entsorgung GmbH, 2009.
- INSTITUT FÜR ENTSORGUNG UND UMWELTECHNIK GMBH (IFEU), INSTITUT FÜR ABFALL, ABWASSER UND INFRASTRUKTUR-MANAGEMENT GMBH (INFA):
SiB - Modellversuch Iserlohn-Letmathe - Ergänzungsbericht Phase III (2009).
Projekträger: LOBBE Entsorgung GmbH, 2010.
- KILLMANN D., PRETZ T.: Status der sensorgestützten Sortierung im Recycling. In: Lorber, Staber, Menapace, Kienzl und Vogrin (Hrsg.), DepoTech 2006. Abfall- und Deponietechnik, Abfallwirtschaft, Altlasten. 8. DepoTech Konferenz, 22.-24.11. Montanuniversität Leoben: VGE Verlag GmbH, S. 243–250, 2006.
- KRANERT M.; CORD-LANDWEHR K.: Einführung in die Abfallwirtschaft. Unter Mitarbeit von P. Laufs, B. Gallenkemper, T. Pretz und G. Rettenberger. 4., vollständig aktualisierte und erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage, Wiesbaden, 2010.
- KRANERT M., SIHLER A. (Hrsg.): Ressourcenschutz durch Abfallwirtschaft. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 93. Essen: Oldenbourg Industrieverlag, 2008.
- LAMBERTZ O.: Persönliche Mitteilung vom 23.10.2015.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW): Von der Abfall- zur Ressourcenwirtschaft - Stoffliche Verwertung, 2009. Verfügbar in: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/24990/> [Abfrage am 09.11.2015].
- LANGEN M., WEBER H., SABROWSKI R., OETJEN-DEHNE R.: Erfahrungen mit dem System Gelbe Tonne plus in der Stadt Leipzig und dem Land Berlin. Müll und Abfall, 40, 05, S. 236–240, 2008.
- LOBBE HOLDING GMBH & CO KG: Innovatives SiB-System hat sich bewährt - Abschlussbericht zum Projekt liegt vor. Das Lobbe Magazin, 31, 04, S. 24–25, 2008.
- LÖHR K.; MELCHIORRE M.; KETTEMANN B.-U.: Aufbereitungstechnik - Recycling von Produktionsabfällen und Altprodukten. München: Carl Hanser-Verlag, 1995.
- MAGISTRATSABTEILUNG 48 (MA 48): Mülltrennung, s.a. Verfügbar in: <http://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/index.html> [Abfrage am 08.05.2015].
- MAGISTRATSABTEILUNG 48 (MA 48): Entwicklung der umweltgerechten Kunststoffsammlung, 2009. Verfügbar in: <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/plastikflaschen/entwicklung.html> [Abfrage am 09.09.2015].
- MAGISTRATSABTEILUNG 48 (MA 48): Wiener Abfallwirtschaftsplan und Wiener Abfallvermeidungsprogramm (Planungsperiode 2013-2018) - Ist-Zustand der Wiener Abfallwirtschaft (Langfassung) 2011, 2012. Verfügbar in: <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/service/pdf/anhang1-istzustand-wr-abfallwirtschaft-2011.pdf> [Abfrage am 30.11.2015].

MARTENS H.: Recyclingtechnik - Fachbuch für Lehre und Praxis. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2011.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG: Abfallbilanz 2014 - Ressourcen aus unserer kommunalen Kreislaufwirtschaft, 2015.

MROSS R.: Zukunft der Entsorgungslogistik. In: Kranert und Sihler (Hrsg.), Ressourcenschutz durch Abfallwirtschaft. Essen: Oldenbourg Industrieverlag (Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 93), S. 70–75, 2008.

NEITSCH M.: Auswirkungen der Deponieverordnung 2004 auf die Getrennte Sammlung - Dokumentation des Standes der Expertenmeinungen im Oktober 2002. Mit besonderer Berücksichtigung der Stadt Graz. Graz, 2002.

NICKEL W. (Hrsg.): Recycling-Handbuch - Strategien - Technologien - Produkte. VDI-Buch. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 1996.

OBERMEIER T.: Wertstofftonne im Spannungsfeld kommunaler und privater Entsorger, 2010. Verfügbar in: http://www.tomm-c.de/fileadmin/pdf/2010/Wertstofftonne_im_Spannungsfeld_kommunaler_und_privater_Entsorger.pdf [Abfrage am 06.06.2015].

OETJEN-DEHNE R.: Erfahrungen mit dem System Gelbe Tonne plus in Leipzig und Berlin. In: Urban und Halm (Hrsg.), Kasseler Modell - mehr als Abfallentsorgung. Kasseler Wertstofftage. Kassel: kassel university press GmbH (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik / UNIK-AT, 9), S. 57–70, 2009.

OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH: Endbericht - Hausmüllmenge und Hausmüllzusammensetzung in der Freien und Hansestadt Hamburg im Jahr 2013, 2014.

ORGAWORLD NEDERLAND BV: The ideal solution for the separation and collection of waste in large cities, s.a. Verfügbar in: <http://www.orgaworld.com/what-can-we-do-you/we-help-progressive-municipal-and-provincial-government/mechanical-and-biological> [Abfrage am 10.06.2015].

PRETZ T., JULIUS J.: Stand der Technik und Entwicklung bei der berührungslosen Sortierung von Abfällen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Volume 60, Issue 7-8, S. 105–112, 2008.

RECHNUNGSHOF: Bericht des Rechnungshofes - Abfallwirtschaftskonzept im Land Niederösterreich, 2006. Verfügbar in: http://www.rechnungshof.gv.at/fileadmin/downloads/2006/berichte/berichte_laender/niederosterreich/Niederosterreich_2006_06.pdf [Abfrage am 03.11.2015].

REH K., FRANKE M., BAUM H.-G., FAULSTICH M.: Vergleichende Analyse der Entsorgung von Verpackungsabfällen aus haushaltsnahen Anfallstellen auf Basis der Verpackungsverordnungen in Deutschland und Österreich - Abschlussbericht im Auftrag der Altstoff Recycling Austria AG. Wien (Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes ÖWAV), 2014.

REINHALTEVERBAND GRÜNE TONNE GMBH: Recycling und Kompostierung, 2007. Verfügbar in: <http://www.arge.at/file/001012.pdf> [Abfrage am 15.04.2015].

SABROWSKI-HERTRICH-CONSULT GMBH (SHC): Stadt Leipzig Endbericht - Restabfallanalyse 2013, 2013. Verfügbar in: <http://www.stadtreinigung->

leipzig.de/assets/files/PDF/Flyer/EB-RAA%20SRL%202013.pdf [Abfrage am 23.11.2015].

SABROWSKI-HERTRICH-CONSULT GMBH (SHC): Abfallwirtschaftskonzept 2014-2018 - Zweckverband Abfallwirtschaft Westsachsen, 2014.

SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU): Umweltgutachten 2008: Kapitel 10 - Abfall- und Kreislaufwirtschaft, 2008.

SANTJER M.: Wertstoffpotenziale im Restmüll - Projektvorstellung, 2015. Verfügbar in: http://www.noe.gv.at/bilder/d91/PPP_Wertstoffpotential_-_DI_Santjer.pdf [Abfrage am 25.11.2015].

SCHARF W.: Moderne Sortiertechnik statt Abfalltrennung im Haushalt. In: ARGE Abfallvermeidung GmbH (Hrsg.), Fehlwürfe in der kommunalen Abfallwirtschaft. Tolerierbar oder unzumutbar? Abfallwirtschaftsforum 2006 - Tagungsdokumentation nach dem Stand der ExpertInnenmeinungen. Forum Abfallwirtschaft 2006, S. 54–59, 2005.

SCHLITTE F., SCHULZE S.: Siedlungsabfallaufkommen in Deutschland. Wirtschaftsdienst, 94, 9, S. 680–682, 2014.

SCHRÖER R.: Nasse + trockene Restabfalltonne - Ein neues System für Kassel? Fachtagung Weiterentwicklung der Abfallsammlung - Abfallwirtschaft ohne Duale Systeme? Kassel, 24.05.2007. Verfügbar in: Online verfügbar unter https://www.uni-kassel.de/fb14bau/fileadmin/datas/fb14/Institute/IWAU/Abfalltechnik/Forschung/PPT_Schroeer_UNIKAT-2007.pdf, zuletzt geprüft am 20.08.2015.

SENATSVERWALTUNG FÜR GESUNDHEIT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ BERLIN: Abfallwirtschaftskonzept für das Land Berlin - Planungszeitraum 2010 bis 2020, 2011.

SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN: Abfallbilanz 2003 des Landes Berlin, 2004. Verfügbar in: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/abfall/bilanzen/03/bilanz2003.pdf> [Abfrage am 01.12.2015].

SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN: Abfallwirtschaft - Abfallbilanz des Landes Berlin 2013, 2014. Verfügbar in: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/abfall/bilanzen/2013/bilanz2013.pdf> [Abfrage am 19.10.2015].

SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT BERLIN, BERLINER STADTREINIGUNGSBETRIEBE (BSR), ALBA GROUP: Pressemitteilung 07.03.2014 - Bessere Abfalltrennung in Berlin, 2014.

SIECHAU R.: Beispiel Hamburg: Hamburger Wertstofftonne, 2011. Verfügbar in: http://www.ggsc-seminare.de/pdf/2011_05_info/Siechau_Hamburger_Wertstofftonne.pdf [Abfrage am 11.04.2015].

SKOVLY T.: Welcome to ROAF, 2014.

SOLLAU S.R.O.: Magnettrommel MB, s.a.a. Verfügbar in: <http://www.sollau.de/katalog/de-i9-magnettrommel-mb.html> [Abfrage am 24.07.2015].

SOLLAU S.R.O.: Magnetwalze MV, s.a.b. Verfügbar in: <http://www.sollau.de/katalog/de-i11-magnetwalze-mv.html> [Abfrage am 24.07.2015].

SOLLAU S.R.O.: Überbandmagnetabscheider mit automatischer Reinigung, s.a.c. Verfügbar in: <http://www.sollau.de/katalog/de-i10-uberbandmagnetabscheider-mit-automatischer-reinigung-dnd-ac.html> [Abfrage am 24.07.2015].

SOMBORN N.: Mülltrennung in Deutschland: Die gelbe Revolution. In: Spiegel Online, 21.07.2010, 2010. Verfügbar in: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/muelltrennung-in-deutschland-die-gelbe-revolution-a-699781.html> [Abfrage am 11.04.2015].

STADT KARLSRUHE: Abfallwirtschaft - Vier Tonnen für Karlsruhe, 2015. Verfügbar in: <http://www.karlsruhe.de/b4/buergerdienste/abfall/entsorgungsfragen/viertonnen.de> [Abfrage am 26.08.2015].

STADT KARLSRUHE AMT FÜR STADTENTWICKLUNG: Daten und Fakten 2015, 2015. Verfügbar in: <http://web3.karlsruhe.de/Stadtentwicklung/siska/pdf/DaFa2015.pdf> [Abfrage am 12.11.2015].

STADT LEIPZIG AMT FÜR STATISTIK UND WAHLEN: Statistisches Jahrbuch 2014, 2014. Verfügbar in: http://www.leipzig.de/buergerservice-und-verwaltung/unsere-stadt/statistik-und-zahlen/?eID=dam_frontend_push&docID=39502 [Abfrage am 12.11.2015].

STADTREINIGUNG HAMBURG: Hamburger Wertstofftonne, 2015a.

STADTREINIGUNG HAMBURG: Info 2015, 2015b. Verfügbar in: <http://www.stadtreinigung.hamburg/export/sites/default/download/PDF/INFO-2015.pdf> [Abfrage am 20.08.2015].

STADTREINIGUNG HAMBURG: Konzernbericht 2014, 2015c. Verfügbar in: http://www.stadtreinigung.hamburg/export/sites/default/download/PDF/SRH_Konzernbericht_2014.pdf [Abfrage am 20.08.2015].

STADTREINIGUNG LEIPZIG: Abfallsammelmengen Stadt Leipzig in kg/E*a, 2015a. Verfügbar in: <http://www.stadtreinigung-leipzig.de/assets/files/PDF/Statistiken/Internet%20RA-WS%201994-2014%20kg.pdf> [Abfrage am 12.11.2015].

STADTREINIGUNG LEIPZIG: Über Behälter gesammelte Hausabfälle Stadt Leipzig in kg/E*a einschließlich Geschäftsmüll, 2015b. Verfügbar in: <http://www.stadtreinigung-leipzig.de/assets/files/PDF/Statistiken/Internet%20Beh%C3%A4ltersammlung%202000-2014%20kg.pdf> [Abfrage am 19.10.2015].

STATISTIK AUSTRIA: Demographisches Jahrbuch - Bevölkerung zu Jahresbeginn. Verfügbar in: http://www.statistik.at/web_de/static/bevoelkerung_zu_jahresbeginn_tabelle_a13_bis_a31_081377.pdf, zuletzt aktualisiert am 2014 [Abfrage am 11.04.2015].

STATISTIK AUSTRIA: Bevölkerung der Politischen Bezirke mit 01.01.2015, 2015. Verfügbar in: http://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=064321 [Abfrage am 11.11.2015].

STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN: Bevölkerung in Hamburg 2014, 2015a. Verfügbar in: <http://www.statistik->

nord.de/fileadmin/Dokumente/Presseinformationen/SI15_155.pdf [Abfrage am 24.09.2015].

STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN: Statistische Berichte - Bodenflächen in Hamburg am 31.12.2014 nach Art der tatsächlichen Nutzung, 2015b. Verfügbar in: http://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/andere_statistiken/A_V_1_H_gebiet_flaeche/A_V_1_j14_HH.pdf [Abfrage am 12.11.2015].

STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN: Bevölkerung des Freistaates Sachsen jeweils am Monatsende ausgewählter Berichtsmonate nach Gemeinden, 2015. Verfügbar in: http://www.statistik.sachsen.de/download/010_GB-Bev/Bev_Z_Gemeinde_akt.pdf [Abfrage am 12.11.2015].

TECHNISCHES BÜRO HAUER UMWELTWIRTSCHAFT GMBH: Darstellung und Vergleich der getrennt erfassten Altstoffe im Verband Neunkirchen und der Behandlungsanlage der Grünen Tonne - Studie im Auftrag Grüne Tonne GmbH. Korneuburg, 2015.

THOMÉ-KOZMIENSKY K. J. (Hrsg.): Materialrecycling durch Abfallaufbereitung. Grundkursus. Berlin: EF-Verl. für Energie und Umwelttechnik, 1992.

UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF: Abfallbilanz 2011 für die Landeshauptstadt Düsseldorf, 2012. Verfügbar in: <https://www.duesseldorf.de/umweltamt/download/abfall/abfallbilanz2011.pdf> [Abfrage am 12.01.2016].

UMWELTAMT LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF: Abfallvermeidung und Abfalltrennung - Das Erfolgsduo nachhaltiger Abfallwirtschaft, 2013. Verfügbar in: https://www.duesseldorf.de/umweltamt/download/abfall/informationen_zur_abfallvermeidung.pdf [Abfrage am 12.01.2016].

URBAN A. I., LÖHLE S.: Nasse und Trockene Tonne Kassel - Hintergründe und Ergebnisse des Pilotprojektes. Müll und Abfall, 43, 12, S. 578–584, 2011.

URBAN A. I., SCHRÖER R.: Verfahrenstechnische Untersuchung und ökonomisch-ökologische Bewertung des Kasseler Modells. In: Urban und Halm (Hrsg.), Kasseler Modell - mehr als Abfallentsorgung. Kasseler Wertstofftage. Kassel: kassel university press GmbH (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik / UNIK-AT, 9), S. 101–116, 2009.

WERT WERTSTOFF-EINSAMMLUNG GMBH, STADTREINIGUNG HAMBURG: Das Falblatt gelbe Hamburger Wertstofftonne und -säcke, 2011. Verfügbar in: http://www.wert.de/content/de/_download/001_Privatkunden/FlyerHWT.pdf [Abfrage am 05.10.2015].

WIECZOREK M.: Sack im Behälter - Das zukunftsweisende Entsorgungssystem. In: Urban und Halm (Hrsg.), Kasseler Modell - mehr als Abfallentsorgung. Kasseler Wertstofftage. Kassel: kassel university press GmbH (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik / UNIK-AT, 9), S. 81–89, 2009.

WIECZOREK M.: Modellversuch Wertstofftonne Iserlohn mit separater E-Schrotterfassung. 9. Würzburger Verpackungs- und Wertstoffforum (19.06.2012). Witzenhausen-Institut. Würzburg, 2012.

WOTRUBA H.: Stand der Technik der sensorgestützten Sortierung. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Volume 153, Issue 6, S. 221–224, 2008.

ZWECKVERBAND ABFALLWIRTSCHAFT WESTSACHSEN (ZAW): Abfallbilanz 2003, 2004.

ZWECKVERBAND ABFALLWIRTSCHAFT WESTSACHSEN (ZAW): Abfallbilanz 2011, 2012. Verfügbar in:

http://www.zawsachsen.de/tl_files/pdfs/Abfallbilanz_2011.pdf [Abfrage am 05.10.2015].

ZWECKVERBAND ABFALLWIRTSCHAFT WESTSACHSEN (ZAW): Abfallbilanz 2014, 2015. Verfügbar in:

http://www.zawsachsen.de/tl_files/allgemein/2014%20Abfallbilanz%20ZAW.pdf [Abfrage am 01.12.2015].

11. Anhang

11.1 Experteninterview – Dipl.-Ing. Jochen Ebbing

Das Experteninterview mit Herrn Dipl.-Ing. Ebbing vom IFEU – Institut für Entsorgung und Umwelttechnik GmbH Iserlohn wurde, aufgrund der großen geographischen Entfernung, per E-Mail durchgeführt. Dazu wurden Hr. Ebbing am 06.10.2015 die festgelegten Interviewfragen, inklusive einer kurzen Einführung in die Thematik, digital zur Beantwortung übermittelt. Am 12.10.2015 wurden die beantworteten Fragen per E-Mail retourniert.

Stefanie Pötttschacher: *Wo sehen Sie die Vorteile des Systems SiB im Vergleich zum System der getrennten Erfassung/Sammlung von Wertstoffen?*

Jochen Ebbing: Folgende Vorteile sehen wir durch SiB im Vergleich mit kombinierten Hol-/Bringsystemen:

CO₂ Einsparung durch einfaches Logistiksystem für Erfassung, Sammlung und Transport: Es wird nur noch ein Typ Sammelbehälter und ein Typ Entsorgungsfahrzeug benötigt, unabhängig von der Anzahl der getrennt erfassten Wertstofffraktionen. Durch die prozessoptimierte Logistik werden CO₂ Emissionen beim Sammeln und Transport eingespart.

Flexibles Logistiksystem für Erfassung und Sammlung: Bei einer Änderung der Entsorgungsstruktur kann jede dadurch bedingte Veränderung in der Erfassung der Stoffströme ohne eine Umgestaltung des Logistiksystems – bei gleichbleibender Anzahl von Sammelbehältern - bewältigt werden.

Ressourcenschutz durch sortenreine Wertstoffe: Durch die bequeme haushaltsnahe Erfassung und den Wegfall von Anreizen für bewusste Fehlwürfe (durch Bereitstellung von ausreichendem Behältervolumen; unbewusste Fehlwürfe gibt es weiterhin) sind die erfassten Wertstoffe sortenreiner und leichter zu Sortieren. Die Sortierung der Säcke ist durch die Standardisierung in automatisierten Anlagen unter Verwendung von Farb- und Materialsensoren sicher und zuverlässig möglich

Attraktiveres Wohnumfeld durch Reduzierung von Behälteranzahl und Standplatzbedarf

Steigerung von Service und Komfort für den Bürger aufgrund der geringeren Befüllzeit des Sammelbehälters

Stefanie Pötttschacher: *Wenn Sie die Systeme SiB und Wertstofftonne (gemeinsame Erfassung von LVP und stoffgleichen Nicht-Verpackungen) gegenüberstellen, wo sehen Sie die größten Vor- bzw. Nachteile der einzelnen Systemvarianten?*

Jochen Ebbing: Nachteile „Wertstofftonne“:

Durch die getrennte Sammlung und Abfuhr der einzelnen Abfall- bzw.

Wertstofffraktionen wird ein hoher Aufwand in der Entsorgungslogistik generiert (Großer Bedarf an Behälterstandplätzen, Vielzahl/ Vielfalt an Abfallbehältern, unterschiedliche Fahrzeuge). Dies führt zu Erhöhten klimaschutzrelevanten Emissionen der Entsorgungslogistik.

Eine Verdrängung von Restabfall in die Wertstofffraktionen, insbesondere in Leichtverpackungen (LVP) findet statt. Diese Verdrängung führt zu Ressourcenverlusten, da durch die Verschmutzung von Wertstoffen durch Restabfall die stoffliche Verwertung beeinträchtigt bzw. unmöglich wird. Die Verdrängung von Restabfall ist zum einen durch unbewusste (Nichtwissen, Bequemlichkeit), zum anderen durch bewusste Fehlwürfe (Verringerung der Gebührenbelastung für die Pflichttonne) zurückzuführen.

Es ist eine Zunahme der illegalen Müllablagerung auch in anderen Bereichen (z.B. wilde Müllkippen im Naturraum, im Straßenbereich) mit einhergehender Verschmutzung von Städten und Landschaften zu beobachten

Die Vielzahl und Vielfalt der Sammelbehälter und Standplätze führen zu Beeinträchtigung der Ästhetik des Wohnumfeldes

Die Vorteile SiB sind oben dargestellt

Stefanie Pötttschacher: *In der Gegenüberstellung der spezifischen Abfallmengen Iserlohns über die Projektphasen hinweg, ist eine deutliche Abnahme der LVP-Mengen erkennbar (2006: 42,1 kg/E*a, 2009: 24,7 kg/E*a - Monatsmittelwert auf ein Jahr hochgerechnet). Wie lässt sich dieser Rückgang erklären bzw. bewerten?*

Jochen Ebbing: Im Projekt war auffällig, dass eine deutliche Verschiebung von Restabfallmengen vom LVP in den Bereich Restfraktion zu beobachten war. Wir führen dies auf ein ausreichend (durch das SiB System) zur Verfügung gestelltes Restabfallvolumen. Die Zahl der ausgegebenen Schwarzen Restabfallsäcke war nicht begrenzt und die Abfuhr der 240 l SiB Tonne erfolgte wöchentlich. Durch das ausreichende Restabfallvolumen entfällt der Fehlanreiz zum Fehlwurf von Restabfall in das „gelbe“ LVP System.

Stefanie Pötttschacher: *Welche Mengen konnten im System SiB nach der Sortierung einer Verwertung zugeführt werden? (ev. Verwertungsquoten?)*

Jochen Ebbing: Durch die bessere Qualität sowohl im Papier als auch im LVP konnten 100 % der Menge zur Verwertung gegeben werden. Die Sortierergebnisse waren eindeutig besser, lassen sich aber nicht quantifizieren, nur die Zusammensetzung.

Stefanie Pötttschacher: *Welche Umstände bzw. Rahmenbedingungen führten dazu, dass das Projekt SiB in Iserlohn nicht weitergeführt und im Jahr 2009 beendet wurde?*

Jochen Ebbing: Grund war allein die rechtliche und vergabetechnische Komponente. In einer Tonne (SiB- Tonne) werden Abfälle aus verschiedener Hoheit (Reste und PPK: Kommune; LVP: Systembetreiber wie DSD AG) zusammengeführt. Die Probleme waren im Versuch nicht auflösbar; sind aber prinzipiell über Aufteilungsmodelle machbar.

Stefanie Pötttschacher: *Sehen Sie in Bezug auf das Potential des Systems SiB Unterschiede in der Umsetzung in ländlichen bzw. in urbanen Gebieten?*

Jochen Ebbing: Prinzipiell sind die Vorteile in der Logistik in ländlichen Gebieten eher höher, dort fällt die Qualitätssteigerung eher weniger ins Gewicht (Da dort tendenziell bessere Qualitäten zu finden sind).

In städtischen Gebieten steht die Qualitätsverbesserung bei entsprechender Aufklärung im Vordergrund, da Fehlanreize wegfallen (Größe des Restabfallbehälters)

Stefanie Pötttschacher: *Wurden, außer in Iserlohn, auch sonst wo Projekte zum System SiB durchgeführt? Bzw. befindet sich dieses irgendwo im Regelbetrieb?*

Jochen Ebbing: Es gibt einige Gebiete, in denen das Prinzip SiB eingesetzt wird.

Insbesondere in Skandinavien werden ca. 2 Millionen Einwohner mit sog. Farbsortierung entsorgt; dies ist ein dem SiB System ähnliches Prinzip. Größte angeschlossene Kommune ist Oslo.

In Frankreich wird das System (dort Multiflux genannt) eingesetzt, in Lothringen (Abfallverband Sydeme, siehe http://www.sydeme.fr/site/dechets_multiflux.php) sowie in der Stadt Nantes.

All die vorher beschriebenen Gebiete befinden sich im Regelbetrieb.

11.2 Experteninterview – Ing. Gerd Hettlinger

Das Experteninterview mit Herrn Ing. Hettlinger, Geschäftsleitung der Reinhaltverband GRÜNE TONNE Neunkirchen Recycling- u. Kompostierungsgesellschaft mbH, fand am 30.10.2015 von 08:30-09:10 Uhr statt. Unter Einwilligung von Ing. Hettlinger wurde das Gespräch vor Ort digital aufgezeichnet und anschließend transkribiert.

Stefanie Pöttschacher: *Im Bezirk Neunkirchen wurde bereits 1985/1986 das System der Grünen Tonne eingeführt. Was waren die Beweggründe zur Umsetzung dieses, in Österreich einzigartigen Projektes?*

Gerd Hettlinger: Das Ausschlaggebende war, dass der AWV Neunkirchen damals schon bestand und hier am Standort, wie damals alle anderen Verbände in Österreich, eine Deponie betrieben hat. Am Standort hier an der B17 sind zwei aufgelassene, verfüllte Deponien. Zu Beginn der 80er Jahre ging die zweite Deponie – Breitenau II, in Richtung Verfüllende. Die Verantwortlichen hatten somit ein Problem und mussten reagieren. Es wurde damals dann bei der Behörde um eine dritte Deponie, hier am Standort an der B17, angesucht. Die Vorbesprechungen verliefen, soweit mir bekannt ist, durchaus positiv und es war geplant eben hier am Standort eine dritte Deponie zu eröffnen und diese dann in den nächsten Jahren zu verfüllen. In der Übergangszeit ist dann offensichtlich der Stand der Technik laufend besser geworden und im letzten Moment ist die Deponie dann doch nicht genehmigt worden. Mit der Begründung, dass hier in Breitenau am Steinfeld, aufgrund des steinigen Untergrundes und offenen Bodens keine Deponie errichtet werden kann. Nach damaligem Wissen wurde auf diesem Standort keine Deponie mehr genehmigt, weil die Untergrundverhältnisse nicht gepasst haben. Jetzt hatten die Verantwortlichen natürlich ein riesen Problem. Denn sie wussten in ein paar Jahren ist die bestehende Deponie voll und sie wissen nicht wie es weitergeht – wohin mit dem ganzen Material. Das Jahresaufkommen war ihnen bewusst und sie mussten zu einer Lösung kommen. Ein riesen Glück damals war, dass der Verbandsobmann, der mittlerweile leider verstorbene Bürgermeister Schagerer aus Pitten war. In der Gemeinde Pitten war auch die Firma Hamburger Prinzhorn AG ansässig. Daher hat es Synergien gegeben. Dann sind diese beiden übereingekommen, denn der Verband Neunkirchen hatte ein Deponieproblem und offensichtlich hat sich gleichzeitig die Firma Hamburger AG Gedanken gemacht, wie sie zu noch mehr Altpapier aus dem Müll kommen. Sie haben sich dann aus Deutschland ein Pilotprojekt angesehen und dieses übernommen, wo eben dieses Zwei-Tonnen-System eingeführt wurde. Stand der Technik in den 80er Jahren oder auch davor war noch eine Mülltonne im Haushalt, quasi der klassische Koloniakübel, der einmal im Monat, einmal in der Woche, wie auch immer, geholt und ungesichtet deponiert wurde. In Deutschland gab es dann Versuche um das Volumen zu reduzieren, wenn man das Material in trocken und nass aufteilt. Dann ist einerseits das Trockene sortierbar und man kann Wertstoffe herausholen. Damals waren das hauptsächlich Altpapier und Metalle, die dann verkaufbar waren. Somit hat man das Volumen, die Menge fast um die Hälfte reduzieren können mit diesem Sortierschritt und hatte nur mehr ein halbes Problem. Genauso die Nassmüllfraktion, wenn man diese grob

abgesiebt oder gesichtet hat, hat man einen Großteil davon zu Kompost verarbeiten können, nach damaligem Stand der Technik. Dadurch hat man durch diese Vortrennung im Haushalt nach zwei Systemen, mit einem Schlag sein Müllproblem um die Hälfte reduzieren können. Das heißt man kommt mit dem verbleibenden Deponievolumen doppelt so lang aus. Und hat ein bisschen Zeit gewonnen um sich dann zu überlegen wie es weitergeht. Auf der anderen Seite hat die Industrie damals schon Wertstoffe aus dem Müll wieder zurückgewinnen können. So wurde das dann umgesetzt. Parallel dazu ist dann in der näheren Umgebung doch noch eine Deponie gesucht worden, weil immer noch nicht verwertbare Reste überblieben. Daraufhin ist dann in der Verbandsgemeinde Seebebenstein die heutige Deponie Steinthal entstanden. Diese ist damals die Nachfolgedeponie des Deponiestandortes Breitenau geworden. Mein Ansatz, das war damals zu dieser Zeit der richtige Weg. Wir waren die ersten, der erste Verband in Neunkirchen, der sortiert hat, der getrennt gesammelt hat. Mittlerweile haben wir 30 Jahre Erfahrung auf der Sortieranlage und in der Trennung von Abfällen. Ich sage es jetzt provokant, wir haben es nicht notwendig, die Bürger vorsortieren zu lassen, weil wir es mit Profipersonal, recht geringem Personal, wir sortieren heute mit ungefähr 30 Mitarbeitern den kompletten Abfall von ungefähr 90.000 Einwohner, plus Werbeanteilen. Da sortieren Profis, die die Verpackungsverordnung auswendig kennen, die wissen welche Materialien wo verwertbar sind. Und es spricht heute wieder in unsere Richtung, denn Materialien sind heute schon besser, grob vorsortiert verkaufbar, als dies vor wenigen Jahren möglich war. Partnerfirmen sind schon mit weniger zufrieden und haben dann Spezialanlagen wo sie noch tiefer sortieren. Wir machen also den ersten Vorschritt, die klassische 90:10-Regel. Die ersten 90% sind relativ leicht zu sortieren. Die restlichen 10% mit 90% Aufwand wären auch noch möglich. Wir sind also der grobe Vorsortierer.

Stefanie Pöttschacher: *Gibt es Erfahrungsberichte, wie die Bevölkerung damals auf diese doch große Umstellung reagiert hat?*

Gerd Hettlinger: Ich bin seit 15 Jahren im Betrieb und habe die Erfahrung gemacht, dass sich die Bevölkerung im Bezirk Neunkirchen nicht mit irgendwelchen Verordnungen quälen muss und nicht wissen muss, handelt es sich bei diesem Abfall um eine Verpackung oder nicht. Da diese Entscheidung hier hinfällig ist. Das Müllthema wurde ihnen abgenommen und die Profis sortieren im Werk. Die Bürger brauchen nicht vorentscheiden ist dieses Papier verwertbar oder nicht. Die Entscheidung wurde ihnen abgenommen. Wir machen das hier professionell und sortieren korrekt. Wo anders, wo der Haushalt vorsortieren sollte und sich vielleicht dann irrt oder wenig Motivation zeigt, hat man dann klassisch einen Fehlwurf. Und das ist das große Problem. Die Neunkirchner sind vielleicht nicht so geschult in der Abfallvorsortierung, weil es einfach nicht notwendig ist. Ich selbst wohne im Nachbarbezirk und sollte eigentlich das AWG recht gut kennen und wissen wann ich wo was wegschmeißen kann, wenn ich es komplett richtig machen möchte. Hier ist es ganz einfach, der Bürger unterscheidet einfach nur nass und trocken und nicht, was ist das genau. Die Sortieranlage und die Spezialisten im Werk lösen dann das Problem.

Stefanie Pötttschacher: *Gab bzw. gibt es Überlegungen, einzelne Fraktionen aus dieser trockenen Tonne rauszunehmen? Denn aus den Statistiken ist z.B. ersichtlich, dass die Erfassungsmengen für Altglas im Bezirk deutlich unter dem österreichischen Durchschnitt liegen.*

Gerd Hettlinger: Aus heutiger Sicht wäre für die Fraktion Glas ein erhöhter Einsatz von Sortiertechnik möglich, um hier die Erfassungsmengen zu erhöhen. Es sind jetzt im Jahr 2015 im Bezirk flächendeckend Glassammelcontainer aufgestellt worden. Und es ist angedacht im Jahr 2016 zusätzlich eine getrennte Papiersammeltonne anzubieten, für quasi Übermengen. Das soll ein Zusatzangebot sein, mit dem Hintergrund, dass die Müllmengen mehr werden. Wir sind kein Abgabeverband, das heißt die Transporte erledigt die Gemeinde selbst. Die sind momentan, meiner Meinung nach mit zu wenigen Intervallen ausgestattet. Die Bürger haben im Haushalt, bei größeren Familien, mehr Bewohnern im Haushalt, vielleicht ein Müllvolumenproblem, dass der Abfuhrhythmus und des angebotene Volumen nicht ausreichen. Da war die Überlegung, kürzere Intervalle, größere Sammelgefäße oder eben das einfachste Papier herauszunehmen, dass der Rest eben weniger wird.

Stefanie Pötttschacher: *Es gibt in Deutschland einige Projekte zur gemeinsamen Erfassung von Leichtverpackungen und stoffgleichen Nicht-Verpackungen. Wie beurteilen Sie diese Systeme im Vergleich zum System im Bezirk Neunkirchen?*

Gerd Hettlinger: Dazu habe ich viele Vorträge oder auch Meinungen aus Deutschland gehört, oder Ansätze mit Gelben Tonnen plus. Da waren Wissenschaftler und Techniker am Werk und schreiben dem Bürger ganz genau vor, was gehört in die Tonne. In Aachen anders als in Dortmund, oder in Düsseldorf und der eine sagt, mit stoffgleichen Nicht-Verpackungen, der zweite mit Elektroaltgeräten, und der dritte hätte wieder gern etwas anderes. Ich bin der Meinung, es ist zu kompliziert für 100% der Bürger. Es werden dies wahrscheinlich 80%, 90% top machen, aber die restlichen 10% hauen mir die Qualität zusammen, wenn sie da nicht mitspielen. Darum würde ich annehmen, man braucht nicht auslegen, was möchte ich gerne haben, sondern ich muss schauen, womit werde ich leben müssen und wenn ich das lösen kann, dann habe ich gewonnen. Ich darf quasi nicht eine Liste schreiben, denn in der Praxis ist es so, was passt in eine Tonne hinein und das wird auch drinnen sein. Den Motorblock eines Kleinfahrzeuges werden wir genauso finden. Ich weiß nicht was sonst noch für schreckliche Sachen hineinpassen in die Tonne. Und die werden unter Umständen auch drinnen sein. Die dürfen dann die Anlage und die Systeme nicht beschädigen. Man kann noch hundert Mal sagen, was rein darf und soll und was gesetzliche Vorgabe ist, passieren wird, das was in die Tonne reinpasst wird auch kommen. Und wenn man das dann nicht bewältigt, dann hat man ein Problem.

Zusätzlicher großer Vorteil des Systems in Neunkirchen ist die komplette Hausabholung der Abfälle. Bis zur Einführung der zusätzlichen Glas- bzw. Papiersammelcontainer wurden alle Abfälle direkt von den Haushalten abgeholt. Dies bringt einen enormen Vorteil für die Bürger, große Benutzerfreundlichkeit und es gibt keine Probleme bzgl. Verunreinigung öffentlicher Sammelinseln usw.

Stefanie Pötttschacher: *Wie beurteilen Sie die Anwendbarkeit oder die Umlegbarkeit des Systems in Neunkirchen auf gesamt Österreich?*

Gerd Hettlinger: Jeder Bezirk in Österreich hat sein System. Wir sind auch ein Gemeindeverband, politisch geführt und ich denke, dass dies ein Punkt ist. Aber rein technisch ist es ganz leicht umzulegen. Mit unserer Anlage, die sehr simpel funktioniert, wird in einer Sortierschicht mit 15 Mitarbeitern gearbeitet. Wir haben sehr viel Erfahrung und mit relativ wenig Geld kann ich eine vergleichbare Anlage für ca. 100.000 Einwohner platzieren. Wenn ich sie technisch adaptiere kann ich natürlich in einer Halle das Doppelte durchsetzen. Das ist ein reines Rechenbeispiel, wenn ich zum Beispiel alle 50 km ein Sortierwerk platziere und dort den Abfall für die angrenzenden Einwohner sortiere. Grob gesagt, bei acht Millionen Einwohnern wenn ich 100 Sortierwerke hätte in dieser Art, hätte ich Österreich flächendeckend versorgt. Ganz Österreich mit etwa 1.500 Mitarbeitern. Hier ist der Transport nicht dabei, die Sammlung ist nicht dabei. Zusätzlich noch die Altstoffsammelzentren und die Betreuung von Übernahmestellen für Elektroaltgeräte, Schrotte und sonstiges, dann brauche ich schon ein bisschen mehr Mitarbeiter. Zu bedenken, es gibt dann noch den Nassmüll, also die Kompostschiene – Kompostierung oder Biovergasung, dies würde noch dazukommen. Aber das ist einfach zu lösen.

Stefanie Pötttschacher: *Zum Thema Sortierung – welchen Durchsatz erreicht die aktuelle Sortieranlage hier am Standort?*

Gerd Hettlinger: Also wir haben jetzt Erfahrung von ungefähr 30 Jahren. Momentan setzen wir mit der Anlage etwa 15.000 Tonnen im Jahr durch. Man kann natürlich mehr auflegen, dann habe ich ein schlechteres Ergebnis. Wenn ich mit weniger fahren könnte, könnte ein besseres Ergebnis erzielt werden. Das langsamer Fahren wäre eine Möglichkeit. Da ist die Frage wie hoch der Wirkungsgrad ist. Aber unsere Anlage ist jetzt gewachsen und ist jetzt nicht auf dem allerletzten Stand der Technik. Mit wenig Investition könnte ich den Wirkungsgrad verbessern, auch den Durchsatz. Da ist die Frage ob man in die Technik geht oder man hat sich eben jetzt entschieden eine Papiertonne anzubieten. Aber mit geringem Aufwand könnte der Durchsatz gesteigert werden. Mit dem aktuellen Durchsatz von rund 15.000 Tonnen pro Jahr im Zwei-Schichtbetrieb haben wir ein passables Ergebnis, das ist vertretbar. Ich kann natürlich auch das Doppelte durchsetzen und werde aber trotzdem nicht mehr Wertstoffe rausbringen. Weil die manuelle Sortierung einfach nicht schneller funktionieren kann.

Wenn man das jetzt auf Europa oder weltweit umlegt – in einem Niedriglohnland kann ich um das gleiche Geld dreimal so viel Sortierer anstellen. Bei uns ist das mit den hohen Lohnkosten ein Kriterium, zu sagen, wo fahren wir wirtschaftlich oder wollen wir wirtschaftlich fahren oder wollen wir die letzte Briefmarke auch noch erwischen. Dann brauche ich einfach die dreifache Mitarbeiteranzahl und fahre eben viel besser.

Stefanie Pötttschacher: *Sind für die Zukunft Adaptierungen an der bestehenden Sortieranlage geplant?*

Gerd Hettlinger: Ja, da mit 2016 die Papiertonne kommt wird sich der Müll-Mix verändern. Wir haben wahrscheinlich weniger Papier drinnen und daher wird die Anlage dann an das Material angepasst. Das ist der Punkt, es gibt viele Sortieranlagen in Österreich, die alle anderes Material sortieren. Das plakativste Beispiel war, wie die NIR-Technik Einzug gehalten hat, waren auch wir ganz vorne dabei und wollten unbedingt probieren mit Nahinfrarot unser Papier zu sortieren. Wollten aber nicht einfach so eine Maschine kaufen um 150.000 Euro, sondern wollten auch Versuche fahren. Dann hat der Anlagenverkäufer, ein deutscher Hersteller, angeboten auf einer Referenzanlage in Österreich Versuche mit unserem Material durchzuführen. Wir ließen dann ein paar Big Bags über die Anlage fahren, um zu sehen wie das mit unserem Mix funktioniert. Das Problem war, das war eine Verpackungssortieranlage, die vorgeschaltet war mit Sieben, Rolltischen und Rüttlern, etc. – unser Material ist nicht einmal bis zum NIR gekommen. Es wird somit keine Standardanlage geben, dass man jeden Müll-Mix dort sortieren kann. Es gibt speziell für jeden Anfall eine angepasste Anlage. Unsere Anlage ist genau auf unsere Müllzusammensetzung zugeschnitten und wir werden sie in den nächsten Jahren vielleicht ein bisschen adaptieren müssen wenn der Mix sich ändert. Es wird dann womöglich weniger Papier und mehr Kunststoff drinnen sein, das heißt ich muss auf der Schwerfraktion-Seite ein bisschen mehr Technik einsetzen oder auch mehr Personal einsetzen, das wird sich zeigen.

Die Anlage gehört betreut und man muss einen Anlagenfahrer haben, der sieht welches Material reinkommt. Es ist bei uns so, wir sind 44 Mitgliedsgemeinden, 3 städtische Zusammensetzungen – Neunkirchen, Gloggnitz, Ternitz. Man merkt schon den Unterschied vom Abfallaufkommen in einer Stadt und in einer kleinen ländlichen Region. Sei es der Hausbrand, das Konsumverhalten. Wir merken tatsächlich ob es zum Beispiel Müll aus Ternitz war oder aus einer kleineren Gemeinde. Wenn man das dann im Gefühl hat und ein bisschen weniger auflegt, ein bisschen mischen, ein bisschen strecken. Der Mix muss ungefähr passen um in der Sortierzeit einigermaßen durchzukommen und die Maschine nicht zu überfahren.

Stefanie Pöttschacher: *Welche Verwertungsquoten erreichen Sie mit Ihrer Anlage?*

Gerd Hettlinger: Wenn Sie nur von der Grünen Tonne rechnen, werden wir irgendwo zwischen 60% und 70% verwertbar liegen. Aber mit Technik könnte ich in Richtung 90% gehen. Wir haben die Studie, was haben wir in unserem Ausgangsmaterial verwertbares drinnen und als zweites, wie ist mein Wirkungsgrad der Sortieranlage. Sind wir heute bei der Zusammensetzung bei ungefähr 60% verwertbar, weiß ich, kann ich mit einfachen Anpassungen meinen Wirkungsgrad nach oben bringen. Mit viel Geld kann ich ihn relativ hoch, auch auf über 90 % bringen. Ob das rentabel ist, ist die Frage, wenn man so viel Geld investiert und in zwei Jahren zum Beispiel wieder alles anders ist. Es geht dabei auch um die Rohstofflage. Macht es Sinn, dass man auf das letzte Stück Eisen geht, weil zur Zeit ist der Eisenpreis zum Beispiel verfallen. Man hat dann viel Aufwand, aber es muss auch irgendwie sinnvoll sein. Man hat nichts davon, mit beispielhaft 200 Mitarbeitern in einer riesen Anlage mit Kanonen auf Spatzen zu schießen. Es muss irgendwo in Relation bleiben. Wenn man den Gesamtabfall rechnet, die Restmülltonne selbst, was hat der Bürger tatsächlich an Verwertbarem, da zeigt auch die Studie, dass wir mit unserem Erfassungssystem die größten Möglichkeiten haben, hier vor Ort

brauchen wir nur gut sein und wir können das lösen. Ein anderer hat da gar nicht die Chance, dass er gut sein kann, wenn man das Material nicht so bekommt.

Stefanie Pötttschacher: *Das heißt, die erwähnten 60-70% gehen in die stoffliche Verwertung und die Reste gehen in die thermische Verwertung?*

Gerd Hettlinger: Ja, genau. Die Sortierreste gehen in die Verbrennung. Ich würde sagen, 70% ist vielleicht momentan noch ein Wunschgedanke, wir werden aber in nächster Zeit dort hinkommen.

Stefanie Pötttschacher: *Das heißt die Verwertungsquoten steigen kontinuierlich?*

Gerd Hettlinger: So ist es, wir verzeichnen da einen kontinuierlichen Anstieg. Und die Anlagentechnik wird besser und auch die Abnehmer finden sich. Was heute schon verkaufbar ist, da war vor 15 Jahren noch nicht einmal zu denken, dass uns das jemand abkauft. Das wird wahrscheinlich in fünf Jahren noch leichter sein, dass was heute noch Verbrennungsfraktion ist, dann schon in die stoffliche Verwertung fällt.