



**Restmüll und getrennt erfasste
Wertstoffe aus Haushalten in Gebiets-
körperschaften mit Ident-System**

abfall



Restmüll und getrennt erfasste Wertstoffe aus Haushalten in Gebiets- körperschaften mit Ident-System

Impressum

Restmüll und getrennt erfasste Wertstoffe aus Haushalten in Gebietskörperschaften mit Ident-System

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 33, Anjuscha Lichtinger, Heinz Riedel, Clemens Marb

Redaktion:

LfU, Referat 33, Kerstin Häußler

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Oktober 2015

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Begriffsdefinition und Abkürzungen	7
3	Stand des Wissens	8
3.1	Eigene Vorarbeiten	8
3.2	Reduzierung des Restmüllaufkommens durch Ident-Systeme	9
4	Vorgehensweise	10
4.1	Planung und Durchführung der Restmüll- und Wertstoffsortierungen	10
4.1.1	Stichprobenplanung	10
4.1.2	Sortierung	12
4.1.2.1	Klassierung von Restmüll, Bioabfall und LVP mit der mobilen Abfallsortieranlage	12
4.1.2.2	Manuelle Sortierung der Grobfraction von Restmüll, Bioabfall und LVP	14
4.1.2.3	Manuelle Klassierung und Sortierung von PPK, Glas und Metallen	15
4.2	Auswertung und Hochrechnung	16
4.3	Auswahl der Gebietskörperschaften	19
4.3.1	Holsysteme	19
4.3.2	Bringsysteme	21
4.3.2.1	Depotcontainer	21
4.3.2.2	Wertstoff- und Recyclinghöfe	21
4.3.3	Abfallgebührensyste	22
4.3.3.1	Ident-System im Landkreis L24 (Leistungsgebühr pro Leerung mit vorgegebener Mindestleerungszahl)	22
4.3.3.2	Ident-Systeme mit Verwiegung in den Landkreisen L25 und L26 (Leistungsgebühr pro Leerung und/oder Gewichtsbezug)	22
4.3.3.3	Vergleich der Abfallgebühren	23
4.3.4	Verwertungswege ausgewählter Wertstofffraktionen	24
4.4	Analytik	25
4.4.1	Analysestoffgruppen	25
4.4.2	Probenahme und Vorbereitung	26
4.4.3	Analysemethoden	27
5	Ergebnisse und Diskussion	29

5.1	Behälterstandzeiten und Hochrechnung	29
5.2	Restmüll	30
5.2.1	Aufkommen	30
5.2.2	Zusammensetzung	32
5.2.3	Maximales Wertstoffpotenzial	33
5.2.4	Originalverpackte Lebensmittel	35
5.3	Bioabfälle	37
5.3.1	Aufkommen	37
5.3.2	Zusammensetzung	38
5.4	Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)	44
5.4.1	Aufkommen	44
5.4.2	Zusammensetzung	45
5.5	Leichtverpackungen (LVP)	50
5.5.1	Aufkommen	50
5.5.2	Zusammensetzung	50
5.6	Glas	54
5.7	Metalle	57
5.8	Problemabfälle	59
5.8.1	Batterien	59
5.8.2	Energiesparlampen und Mobiltelefone (Handys)	61
5.8.2.1	Energiesparlampen	61
5.8.2.2	Mobiltelefone (Handys)	62
5.9	Restmüll- und Wertstoffaufkommen (insgesamt)	63
5.10	Abfallanalysen	68
5.10.1	Physikalisch-chemische Summenparameter	68
5.10.2	Massebildner	69
5.10.2.1	Kohlenstoff	69
5.10.2.2	Chlor, Phosphor, Schwefel, Stickstoff	70
5.10.2.3	Alkali- und Erdalkalimetalle	70
5.10.3	Schwermetalle	71
5.10.4	Gasbildungspotenzial	72

6	Zusammenfassung	74
7	Literatur	77
8	Anhang	84

1 Einleitung

Seit 1998 führt das Bayerische Landesamt für Umwelt (BayLfU) Abfallsortieranalysen [1, 2, 3, 4, 5] in Anlehnung an die Brandenburg-Richtlinie [6] durch.

Zunächst standen das Aufkommen und die Zusammensetzung des Restmülls im Vordergrund des fachlichen Interesses. Ab dem Jahr 2007 traten auch die vom Bürger¹ getrennt zu erfassenden Wertstoffe (vor allem Bioabfall, Leichtverpackungen, Papier, Altglas) in das Blickfeld der Untersuchungen. Ein wichtiges Kriterium bei der Auswertung der Ergebnisse ist, wie die jeweilige Gebietskörperschaft das Abfallwirtschaftssystem entsprechend den Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes [7] und des Bayerischen Abfallwirtschaftsgesetzes [8] ausgestaltet hat. Während früher bei den Holsystemen für Restmüll und einen Teil der getrennt zu erfassenden Wertstoffe die Regelabfuhr üblich war, hat sich ein gewisser Trend zur Abkehr von der Regel- hin zur Bedarfsabfuhr bei Restmüll eingestellt. Damit sollen insgesamt die Abfallgebühren für den Bürger „verursachergerechter“ werden („pay as you throw“). In vielen Gebietskörperschaften mit Regelabfuhr für Restmüll wird in einem gewissen Umfang das unterschiedliche Abfallaufkommen jedes Haushalts über die Wahlmöglichkeit der Abfalltonnengröße und/oder des Leerungsturnus berücksichtigt.

Verursacherbezogene Gebührenmaßstäbe zeichnen sich dadurch aus, dass die Gesamtkosten auf die einzelnen Abfallerzeuger auf Basis der in Anspruch genommenen Leistung – Behälterleerung, zu entsorgende/verwertende Abfallmasse – umgelegt werden [9]. Ziel des verursacherbezogenen Gebührenmodells ist es, finanzielle Anreize für den Bürger zur getrennten Entsorgung von Wertstoffen, zur Reduktion des Restmüllaufkommens und zur Abfallvermeidung zu schaffen [10].

Das vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz geförderte Projekt „Restmüll und getrennt erfasste Wertstoffe aus Haushalten in Gebietskörperschaften mit Ident-System“ beschäftigt sich mit der Fragestellung, inwieweit sich verursachergerechte Abfallgebühren auf die Restmüllmenge sowie die Wertstoffqualität auswirken. Dazu wurden das Aufkommen und die Zusammensetzung des Restmülls und der getrennt erfassten Wertstoffe in drei Gebietskörperschaften (Landkreise) mit Ident-System ermittelt. In einem Landkreis besteht das Ident-System darin, dass die in Anspruch genommenen Leerungen erfasst werden. In den beiden anderen Landkreisen wird zusätzlich die Masse an Restmüll (beide Landkreise) und an Bioabfall (ein Landkreis) bei der Tonnenleerung protokolliert.

¹ Bei allen Bezeichnungen von Personen sind in diesem Bericht Frauen und Männer in gleicher Weise gemeint. Eine sprachliche Differenzierung wurde zwecks besserer Lesbarkeit nicht vorgenommen.

2 Begriffsdefinition und Abkürzungen

Bioabfall, die im Siedlungsabfall enthaltenen biologisch abbaubaren organischen Abfallbestandteile (z. B. organische Küchen-, Gartenabfälle, Hygienepapiere), die getrennt (z. B. Biotonne) oder gemeinsam mit dem Restmüll gesammelt werden.

Gartenabfälle, überwiegend pflanzliche Abfälle, die auf gärtnerisch genutzten Grundstücken anfallen und getrennt (z. B. Biotonne, Grünabfallsammlung) oder gemeinsam mit dem Restmüll gesammelt werden.

Getrennthaltung, die nach den Kriterien der Abfallsatzung der Gebietskörperschaft getrennte Bereitstellung von Abfällen, Wertstoffgemischen und schadstoffbelasteten Produkten und deren getrennter Transport zur weiteren Entsorgung (Verwertung, Beseitigung).

(Alt)Glas, Behälterglas (Braun-, Grün-, Weißglas), das getrennt zu halten ist und im Bringsystem über Depotcontainer und Wertstoffhöfe erfasst und der Wiederverwendung zugeführt wird.

Hausmüll, der als Restabfall definiert ist, in Haushalten anfällt und mittels eines Behältersystems durch die kommunale Hausmüllabfuhr oder beauftragte Dritte erfasst wird.

Geschäftsmüll umfasst Abfälle, die in kleineren Gewerbebetrieben, Behörden, Schulen usw. anfallen und zusammen mit dem Hausmüll über die kommunale Hausmüllabfuhr oder beauftragte Dritte erfasst werden. Geschäftsmüll ist eine Teilfraktion des Hausmülls.

Leichtverpackungen \equiv **LVP**, Verpackungen aus Kunststoff oder Metall (z. B. Aluminium, Weißblech) oder Materialverbunden (z. B. Getränkekartons), die getrennt zu halten sind und im Holsystem über den Gelben Sack oder die Gelbe Tonne erfasst und der Wiederverwendung zugeführt werden.

Maximales Wertstoffpotenzial: darunter versteht man unabhängig vom Zustand der Materialien stofflich verwertbare Stoffe (z. B. Bioabfälle, Papier, Pappe, Kartonagen, LVP, Glas und Metalle), die im Restmüll enthalten sind.

(Alt)Papier, Pappe, Kartonagen \equiv **PPK**, Papier-, Pappe-, Kartonagen-Abfälle, die in privaten Haushalten anfallen und über die Papiertonne regelmäßig gesammelt, transportiert und der stofflichen Verwertung zugeführt werden.

Restmüll, Abfälle aus privaten Haushalten, die nach Abtrennung der im Entsorgungsgebiet getrennt zu erfassenden Wertstoffe (z. B. Bioabfälle, Leichtverpackungen, Papier, Pappe, Kartonagen) übrig bleiben. Sie werden im Entsorgungsgebiet in vorgeschriebenen Abfallbehältern regelmäßig gesammelt, im Holsystem erfasst, transportiert und der weiteren Entsorgung zugeführt.

Siedlungsabfälle, Abfälle wie Rest-, Sperrmüll, Bio-, Gartenabfälle, Straßenkehrschutt, Klärschlamm usw., die aufgrund der Siedlungstätigkeit anfallen.

Sperrmüll, feste Abfälle, die aufgrund ihres Volumens nicht in die im Entsorgungsgebiet vorgeschriebenen Abfallbehälter passen und getrennt vom Restmüll gesammelt und transportiert werden.

Stichprobeneinheit \equiv **SPE**, sind der Inhalt eines bereitgestellten 1,1 m³-Restmüllbehälters oder die Inhalte mehrerer kleinerer Restmüllbehälter, die zusammen den Inhalt eines 1,1 m³-Behälters ergeben.

Wertstoffe, Abfallbestandteile oder im Hol- oder Bringsystem getrennt erfasste Abfallfraktionen, die sich zur stofflichen Wiederverwendung oder für die Herstellung energetisch verwertbarer Zwischen- oder Endprodukte eignen.

3 Stand des Wissens

3.1 Eigene Vorarbeiten

Das BayLfU hat in den Jahren 1998 bis 2008 das Restmüllaufkommen und die -zusammensetzung aus Privathaushalten (ohne Geschäfts- und Sperrmüll) in 17 Landkreisen und 7 kreisfreien Städten Bayerns untersucht. Die einheitliche Vorgehensweise basierte auf der Brandenburger Richtlinie [6]. Daneben wurde der Restmüll anhand physikalisch-chemischer Parameter (Summenparameter, Elementgehalte, Schwermetalle, organische Schadstoffe) charakterisiert. Über die Ergebnisse wurde unter anderem in den Abschlussberichten der jeweiligen Projekte [1, 2, 3] sowie in Veröffentlichungen [10, 11, 12, 13, 14] ausführlich berichtet. Die Daten dienen den teilnehmenden Gebietskörperschaften als Grundlage für die Fortentwicklung ihres Abfallwirtschaftssystems: z. B. Erweiterung des Wertstofffassungssystems (Einführung einer weiteren Tonne für eine zusätzliche Wertstofffraktion), Umstellung auf ein verursacherbezogenes Gebührensystem (individueller Leerungsturnus mit und ohne Verwiegung) oder Intensivierung der Abfallberatung.

Während sich die BayLfU-Abfallanalysen in der Vergangenheit auf den Restmüll konzentrierten, wurde in dem Projekt „Nutzung des CO₂-Einsparpotenzials des Restmülls von Haushaltungen durch verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung“ der Untersuchungsumfang um die getrennt erfassten Wertstoffe erweitert [5]. Dabei lag ein Schwerpunkt auf der Wertstoffzusammensetzung sowie der Ermittlung der Störstoffgehalte in den jeweiligen Wertstoffsammelsystemen (Biotonne, Papiertonne, Gelbe Tonne oder Gelber Sack, Depotcontainer für Altglas und Metalle). Dazu wurde der Restmüll-Sortierkatalog auf die getrennt erfassten Wertstoffe übertragen, um Aussagen über die Verteilung von (Wertstoff-) Sortierfraktionen sowie über das Trennverhalten der Bürger treffen zu können. Die Restmüllanalysen [1, 2, 3] haben gezeigt, dass das Wertstoffpotenzial im Restmüll in einem anonymen Wohnungsumfeld unzureichend abgeschöpft wird. Daher wurden in dem oben genannten Vorhaben [5] die Restmüll- und Wertstoffanalysen in drei kreisfreien Städten mit überwiegend (inner-)städtischen Siedlungsstrukturen durchgeführt. Alle drei Städte weisen ein vergleichbares Holsystem für die Wertstoffe Bioabfälle, Altpapier und Leichtverpackungen auf.

Ziel des aktuellen Projekts war es, die Datenbasis zur Beurteilung des Abfallaufkommens und dessen Zusammensetzung, insbesondere der Qualität der getrennt erfassten Wertstoffe, in Bayern auszubauen. Dazu wurden der Restmüll sowie die in Hol- und Bringsystemen separat erfassten Wertstoffe (Bioabfall, Papier, Pappe, Kartonage, Leichtverpackungen, Behälterglas, Metall) aus Privathaushalten untersucht. Bisherige Untersuchungen haben belegt, dass sich das durchschnittliche Restmüllaufkommen in Gebietskörperschaften mit einem Holsystem für die getrennt erfassten Wertstoffe verringert [12]. Darüber hinaus kann das Gebührensystem das Abfallaufkommen in den jeweiligen Gebietskörperschaften beeinflussen. Laut [15] konnten viele bayerische Gebietskörperschaften, die ein Ident- oder Verwiegesystem eingeführt haben, ihr Hausmüllaufkommen (beinhaltet Rest- und Geschäftsmüll) reduzieren. Um diesen Effekt näher zu untersuchen, wurden für das aktuelle Projekt drei bayerische Gebietskörperschaften mit vergleichbaren abfallwirtschaftlichen Strukturen und Gebührensystemen (Ident-System) ausgewählt. Im Mittelpunkt des vorangegangenen wie auch beim aktuellen Projekt standen neben dem Aufkommen und der Zusammensetzung von Restmüll insbesondere die getrennt zu erfassenden Wertstoffe.

Die in dem vorliegenden Bericht untersuchten Landkreise (L) werden in Fortführung der bisherigen Nomenklatur – siehe [1, 2, 3, 5] – mit L24, L25 und L26 bezeichnet.

3.2 Reduzierung des Restmüllaufkommens durch Ident-Systeme

Etliche Autoren gehen davon aus, dass die Entsorgungsgebühren für Abfälle aus Haushalten maßgebend für das spezifische Abfallaufkommen sind, z. B. [16, 17]. Inwieweit diesem Aspekt die Schlüsselrolle zukommt, lässt sich schwer beurteilen. Eine Vielzahl von sozioökonomischen Faktoren spielt diesbezüglich eine Rolle. Sie tragen dazu bei, dass das Abfallaufkommen in Bayern in den einzelnen Gebietskörperschaften recht unterschiedlich ist; vergleiche z. B. die bisherigen Restmülluntersuchungen in Landkreisen und Städten [1, 2, 3, 5]. Als „moderne“ Kostenmodelle werden Gebührensysteme [18, 19] angesehen, bei denen der Bürger oder die Haushalte eine identische Grundgebühr für das Leistungsangebot entrichten und die tatsächlich in Anspruch genommenen Entsorgungsleistungen (Leerungs- oder Gewichtsg Gebühr für Restmüll oder auch Bioabfall) einzeln in Rechnung gestellt werden. Ein Trend, der auch bei den Gebührenmodellen in anderen Branchen (z. B. Versicherungen) festzustellen ist. Dabei tritt der Solidaritätsgedanke in einer immer mehr individualisierten Gesellschaft in den Hintergrund.

Eine systematische Untersuchung zur abfallwirtschaftlichen Lenkungsfunktion von Abfall- und Abfallgebührensatzungen wurde im Jahr 2001 veröffentlicht [20]. Datengrundlage bildeten rund 300 Abfallsatzungen sowie die zugehörigen Abfallbilanzen. Zum Zeitpunkt der Erhebung waren in 26 % der Gebietskörperschaften Ident-Systeme etabliert. Gebietskörperschaften mit einer verursacherbezogenen Gebührenabrechnung wiesen das geringste einwohnerspezifische Restmüllaufkommen – 139 kg/(E · a) im Vergleich zu 182 kg/(E · a) – und die höchste Wertstoffabschöpfung –141 kg/(E · a) im Vergleich zu 121 kg/(E · a) – auf.

Nach [19] beeinflussen die Art der Abfallerfassung und Höhe der Abfallgebühren das Entsorgungsverhalten des Bürgers. Dazu wurden unter anderem die Restmüllmengen aus dem Jahr 2002 in Abhängigkeit unterschiedlicher Gebührensysteme (Pauschalsystem, Ident- und Wertmarkensystem, Ident-Wägesystem) in den Bundesländern Sachsen, Hessen und Baden-Württemberg verglichen. Während in Sachsen 86 % der Kommunen auf verursacherbezogene Systeme setzen, sind in Hessen Ident-Systeme wenig verbreitet (16 %). In Baden-Württemberg sind in weniger als der Hälfte der Kommunen (45 %) verursacherbezogene Gebührensysteme etabliert. Dabei stellte sich beim Ident- und Wertmarkensystem ein deutlich geringeres einwohnerspezifisches Restmüllaufkommen heraus. Die geringsten Restmüllmengen werden bei der Abfallverwiegung erzielt.

Die Sonderauswertung Gebührensysteme und Abfallerfassung zur BayLfU-Abfallbilanz 2010 [15] belegt, dass Ident-Systeme deutlich erhöhte abgeschöpfte Wertstoffmassen und eine in der Regel reduzierte Restmüllmasse aufweisen. Eine OECD-Studie [21] aus dem Jahr 2011 kommt unter anderem zu dem Ergebnis, dass Haushalte, in denen gewichtsbezogene Abfallgebühren erhoben werden, ein um 20–30 % geringeres Müllaufkommen aufweisen. Dazu wurde die Umweltauswirkung von über 10.000 Haushalten aus 10 OECD-Ländern (Australien, Kanada, Tschechien, Frankreich, Italien, Korea, Mexiko, Niederlande, Norwegen und Schweden) untersucht.

Derzeit haben in Bayern 11 von 96 Gebietskörperschaften Ident-Systeme eingeführt [22]. Insbesondere Müllverwiege-Systeme, die in 6 Gebietskörperschaften etabliert sind, führten zu einer Reduzierung der Restmüllmengen um bis zu 50 % [23]. Diese Zahlen belegen, dass Maßnahmen der Müllverwiegung zur Verringerung des Restmülls beitragen können.

Bei Ident-Systemen wird oft als Kritikpunkt angeführt, dass es zu vermehrten illegalen Abfallablagerungen kommt. Ob ein Ident-System möglicherweise Anreize zur illegalen Abfallbeseitigung gibt, wurde im Landkreis Kitzingen untersucht [24]. Dazu wurde an potenziellen „Entsorgungsstellen“ (öffentliche Papierkörbe, Depotcontainerstandorte, Häckselplätze, Wald und Flur, Straßen) die Situation vor und nach der Einführung des Ident-Systems untersucht. Die Ergebnisse belegen, dass die illegalen Ablagerungen nicht zugenommen haben. Die Hausmüllmengen haben sich von 100,8 kg/(E · a) im Jahr 2009 nach Einführung des Ident-Systems im Jahr 2010 um 22,8 kg/(E · a) reduziert [15].

4 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise der Restmüll- und Wertstoffuntersuchungen orientiert sich an der „Richtlinie für die Durchführung von Untersuchungen zur Bestimmung der Menge und Zusammensetzung fester Siedlungsabfälle im Land Brandenburg“ [6]. Zur Berücksichtigung jahreszeitlicher Schwankungen wurden anstatt der in der Richtlinie vorgegebenen 4 über das Jahr verteilten Untersuchungen zwei Sortierkampagnen je Gebietskörperschaft durchgeführt. Diese fanden von April bis Juli (Sommersortierung) und von November bis Februar (Wintersortierung) statt. Bei der Planung der Abfallsortierkampagnen wurden Ferienzeiten und Feiertage ausgeklammert, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten.

Die Durchführung der Restmüll- und Wertstoffanalysen wurde öffentlich ausgeschrieben [25]. Den Zuschlag erhielten zwei mittelständische Unternehmen mit langjähriger Erfahrung im Bereich der Abfallwirtschaft, deren Fachkompetenz unter anderem auf dem Gebiet der Abfallsortieranalysen liegt. Um eine gleichbleibende Vorgehensweise zu gewährleisten, betreute eine BayLfU-Mitarbeiterin die Sortierkampagnen vor Ort.

4.1 Planung und Durchführung der Restmüll- und Wertstoffsortierungen

4.1.1 Stichprobenplanung

Die Untersuchung des Restmülls und der getrennt erfassten Wertstoffe aus Haushalten erfolgte anhand repräsentativer Stichproben. Um belastbare Ergebnisse zu erzielen, beträgt der Stichprobenumfang bei Restmüll 21 Stichprobeneinheiten (SPE). Dazu werden mindestens 6 SPE pro untersuchtem Teilgebiet gezogen.

Als Schichtung bezeichnet man die Unterteilung eines heterogenen Untersuchungsgebiets in homogenere Teilgebiete. Aus den Ergebnissen der Teilgebiete wird das Abfallaufkommen mit Hilfe eines statistischen Berechnungsverfahrens auf die Gebietskörperschaft hochgerechnet.

Die Unterteilung des Untersuchungsgebiets erfolgt wie bei den bisherigen BayLfU-Abfallsortieranalysen in die Gebietsstrukturen *Ländlich*, *Städtisch* und *Innerstädtisch* [11], um eine einheitliche Methodik sicherzustellen. Eine abweichende Schichtung ergibt sich im Landkreis L26. Aufgrund der geringen Einwohnerzahlen und der fehlenden verdichteten Wohnbebauungen entfällt die Gebietsstruktur *Innerstädtisch*.

In Tab. 1 sind die Gebietsstrukturen anhand ihrer Einteilungskriterien aufgeführt.

Tab. 1: Einteilungskriterien für die Gebietsstrukturen Ländlich, Städtisch und Innerstädtisch

Ländlich (l)	Städtisch (s)	Innerstädtisch (is)
<ul style="list-style-type: none"> • Reine Wohngebiete • Ein- und Zweifamilienhäuser • In der Regel Neubausiedlungen • Private Nutzgärten 	<ul style="list-style-type: none"> • Im Wesentlichen reine Wohngebiete • Mehrfamilienhäuser • Auch mit privaten Zier- und Nutzgärten 	<ul style="list-style-type: none"> • Verdichtete Wohnbebauung • Mindestens 7 Wohneinheiten je Gebäude • Keine Nutzgärten • Wenig bis keine Ziergärten oder Abstandsgrün
		

Laut [6] ist ein Stichprobenumfang von mindestens 6 SPE je Gebietsstruktur sowohl bei Restmüll als auch bei den getrennt erfassten Wertstoffen (Bioabfall, PPK, LVP, Glas, Metall) erforderlich. Da der Inhalt der Wertstofftonnen gegenüber der Restmülltonne homogener (das heißt wenig Störstoffe) zusammengesetzt ist, ist erfahrungsgemäß eine geringere SPE-Anzahl bei den Wertstoffen ausreichend.

Aus den Erfahrungen der bisherigen Untersuchungen wurden je Gebietsstruktur 7 SPE an Restmüll, 3 bis 4 SPE an Bioabfall, 3 bis 4 SPE an PPK, 3 bis 6 SPE an LVP, 1 bis 2 SPE an Glas und 1 bis 2 SPE an Metall gesammelt [4, 5]. Im Landkreis L26 sind keine Metallcontainer aufgestellt, zudem entfällt die Gebietsstruktur *Innerstädtisch*. Demnach wurde in diesem Landkreis bei der Probenahme die Anzahl der SPE bei Restmüll von 7 auf 8, bei Bioabfall von 3 auf 4 und bei PPK von 3 auf 5 SPE je Gebietsstruktur erhöht.

Eine Stichprobeneinheit umfasst ein Volumen von $1,1 \text{ m}^3$, was dem Inhalt eines 1.100 l Müllgroßbehälters entspricht. Dieser wird bei der Stichprobengewinnung als Sammelgefäß genutzt. In der Regel findet die Stichprobensammlung mit Hilfe eines Pritschenfahrzeugs (siehe Abb. 1) statt: Mehrere kleinere Behälter (80 l, 120 l, 240 l Fassungsvermögen) werden in einen Stichprobenbehälter umgeleert oder der Inhalt eines 1.100 l Containers wird als Ganzes beprobt.

Im Landkreis L26 war diese Vorgehensweise aus technischen Gründen (kein verleihbares mobiles Lesegerät für die Identifizierung der Tonnen verfügbar) nicht möglich. Die Stichprobensammlung wurde innerhalb der regulären Tour mit einem Müllfahrzeug durchgeführt (vergleiche Abb. 2). Dabei wurde durch das Nicht-Ausschöpfen des Transportvolumens auf eine geringe Verpressung des Restmülls und der Wertstoffe geachtet.



Abb. 1: Sammlung der Stichproben mit einem Pritschenfahrzeug und Umlerung in einen 1,1 m³ Müllgroßbehälter in den Landkreisen L24 und L25



Abb. 2: Sammlung der Stichproben mit einem Müllfahrzeug im Landkreis L26

Die Sammlung der SPE erfolgte vor der regulären Müllabfuhr nach einem vom Auftragnehmer erstellten und mit dem BayLfU abgestimmten Stichprobenplan. Ziel war es, bei allen Probenahmen (unterschiedliche Abfallarten und Jahreszeiten) möglichst die gleichen Haushalte zu erfassen. Diese Forderung ist bei einer Bedarfsabfuhr schwer umzusetzen, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass in den Beprobungswochen immer die Behälter der gleichen Abfallerzeuger zur Leerung bereitstehen. Zudem variiert das Abfallaufkommen je nach Abfallart, Entleerungsturnus und Gebietsstruktur. Für den Fall, dass nicht genügend Behälter zur Gewinnung der Stichprobe bereitgestellt waren, wurde auf Ersatztonnen oder -gebiete ausgewichen.

Neben der Gebietsstruktur werden an den ausgewählten Adressen die Behältergröße und der Füllgrad sowie das Gewicht vor und nach der Leerung der bereitgestellten Tonnen protokolliert. Für die Ermittlung des einwohnerspezifischen Abfallaufkommens wird die Adresse erfasst, um die Anzahl der Bewohner der jeweiligen Anwesen über das Einwohnermeldeamt zu ermitteln.

Abweichend von den im Holsystem erfassten Rest- und Wertstoffen (Restmüll, Bioabfall, PPK, LVP) erfolgt die Probenahme bei den im Bringsystem erfassten Wertstoffen (Glas, Metalle). Diese werden in den untersuchten Gebietskörperschaften über Depotcontainer mit unterschiedlichen Volumina (1,1 bis 5,5 m³) an Wertstoffinseln entsorgt. Für die Untersuchung wurde ein Container je Gebietsstruktur – bei Depotcontainer für Behälterglas ein Container je Glasfarbe und Gebietsstruktur – als Stichprobe ausgewählt. Bei Bringsystemen kann die ermittelte Abfallzusammensetzung des Wertstoffcontainers nicht auf Einwohner bezogen werden. Ergänzend hierzu wurden Standort und Stichprobenmasse protokolliert. Die Depotcontainer (Glas, Metalle) werden sowohl von Privathaushalten als auch von Gewerbetreibenden genutzt.

4.1.2 Sortierung

Restmüll und alle Wertstoffe werden nach dem gleichen Sortierkatalog sortiert (siehe Anhang Tab. A-1).

4.1.2.1 Klassierung von Restmüll, Bioabfall und LVP mit der mobilen Abfallsortieranlage

Mit Hilfe der mobilen Abfallsortieranlage werden Restmüll, Bioabfall und die LVP in die Fraktionen Fein-, Mittel- und Grobfraktion klassiert. Die Arbeitsschritte an der Sortieranlage werden nachfolgend erläutert.

Zu Beginn werden die in der Regel meist geschlossenen Müllsäcke geöffnet und der Inhalt auf das Aufgabeförderband gegeben (siehe Abb. 3). Größere und spitze Gegenstände sowie Glas werden dabei aussortiert.



Abb. 3:
Blick auf das Aufgabeförderband der mobilen Abfallsortieranlage

Anschließend gelangen der Restmüll und die Wertstoffe über das Aufgabeförderband in eine zweistufige Siebtrommel mit Lochweiten von 10 mm und 40 mm (siehe Abb. 4). In den zwei Siebzonen werden die Fein- und Mittelfraktion abgetrennt und über seitlich auslaufende Transportbänder in 240 l-Tonnen ausgetragen (siehe Abb. 5). Die Mittelfraktion wird quantitativ nach Batterien durchsucht.

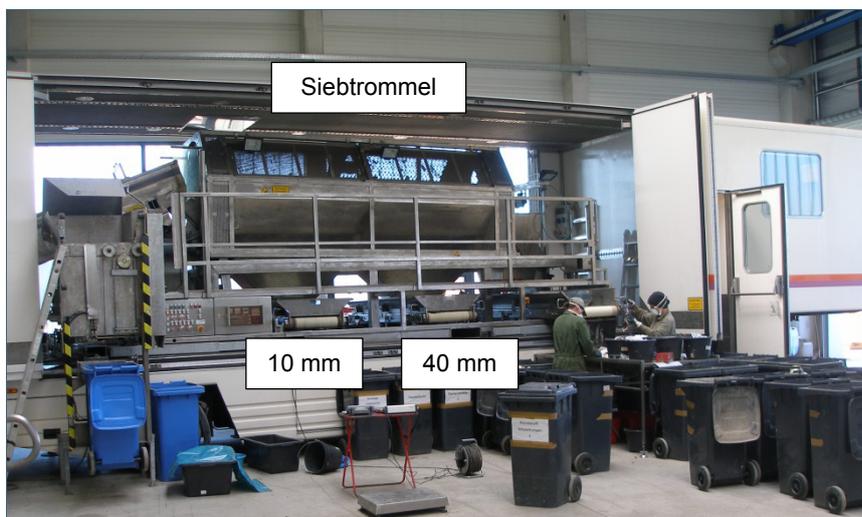


Abb. 4: Seitenansicht (rechts) der mobilen Abfallsortieranlage



Abb. 5: Seitenansicht (links) der mobilen Abfallsortieranlage mit den Austragsförderbändern für die Fein- und Mittelfraktion in 240 l Behälter

Der Durchsatz der Anlage beträgt bei den für die Sortierung festgelegten und bewährten Geräteeinstellungen (Neigung und Umdrehungsgeschwindigkeit der Siebtrommel, Geschwindigkeit der Förderbänder) circa 150 kg/h.

4.1.2.2 Manuelle Sortierung der Grobfraktion von Restmüll, Bioabfall und LVP

Der Siebüberlauf (= Grobfraktion; $d_p > 40$ mm) fällt auf ein Transportband, das quer zur Siebtrommel verläuft, und danach auf einen 1 × 2 m großen Sortiertisch (siehe Abb. 6).



Abb. 6: Manuelle Sortierung der Grobfraktion des Restmülls auf dem Sortiertisch

Darauf wird die Grobfraction in 44 Sortierfraktionen (= Stoffgruppen) separiert. Die Massen der einzelnen Fraktionen werden mit einer kalibrierten Bodenwaage ermittelt und protokolliert. Die 44 Stoffgruppen werden zu 12 Obergruppen zusammengefasst, wobei Fein- und Mittelfraction eigene (zusätzliche) Sortier- oder Obergruppen darstellen.

4.1.2.3 Manuelle Klassierung und Sortierung von PPK, Glas und Metallen

Die Klassierung von PPK erfolgt mit einem Sieb; Glas und Metalle werden ohne vorangehende Klassierung sortiert.

PPK

Das gesammelte Altpapier wird auf ein 1,10 × 1,60 m großes Sieb mit einer Maschenweite von 40 mm (siehe Abb. 7) gegeben und manuell gerüttelt. Das klassierte Material (= Siebfraction) kleiner als 40 mm wird quantitativ nach Batterien durchsucht; Stückzahl und Masse werden protokolliert.



Abb. 7: Vom Altpapier übrig gebliebene Grobfraction auf dem Lochsieb (Maschenweite 40 mm)

Die auf dem Sieb verbleibende Grobfraction > 40 mm wird manuell nach einem für die Obergruppe PPK erweiterten Sortierkatalog (Druckerzeugnisse und Papier groß, Bücher mit Harteinband, Kleinpapier, Papier-Verpackungen, Sonstiges Papier, Unerwünschte Stoffe aus Papier, Karton-Verpackungen, Sonstige Kartonagen) separiert. Diese Aufteilung berücksichtigt die unterschiedlichen Papierqualitäten, wie sie für die Papierverwertung gefordert werden [26].

Glas

Glas wird aufgrund der Bruchgefahr nicht mit der mobilen Abfallsortieranlage klassiert. Die Sortierung erfolgt nach Farben getrennt von Hand nach einem für Glas erweiterten Sortierkatalog (Behälterglas weiß; grün/blau; braun; Sonstiges Glas). Behälterglas blau wird dem Behälterglas grün zugeordnet, da Grünglas den höchsten Fehlanteile (bis zu 15 Mass.-%) [27] bei der Herstellung verträgt. Fehlerfarben werden nicht als Störstoffe betrachtet, sondern der entsprechenden Behälterglasfarbe zugeordnet.

Verschlüsse aus Metall, Kunststoff oder Kork werden, so weit möglich, von den Behältergläsern entfernt und der entsprechenden Sortierfraktion zugeordnet.

Metall

Die Sortierung von Metallverpackungen wurde in zwei (L24, L25) von den drei ausgewählten Landkreisen durchgeführt. Im dritten Landkreis (L26) sind keine Depotcontainer für Metallverpackungen aufgestellt; Metallverpackungen können dort über den Gelben Sack oder an den Wertstoffhöfen entsorgt werden. Die Sortierung erfolgt ohne vorhergehende Klassierung von Hand nach dem gleichen Sortierkatalog wie für Restmüll. Mit Hilfe eines Magneten wird zwischen den Eisen- und Nichteisen-Metallverpackungen unterschieden.

Die Massen der einzelnen Stoffgruppen werden mit einer kalibrierten Bodenwaage bestimmt und protokolliert.

4.2 Auswertung und Hochrechnung

Bei der Probenahme werden Behältergröße und Füllgrad von den zur Abholung bereitgestellten Behältern bestimmt. Zusätzlich werden die Tonnen vor und nach der Leerung in die Sammelbehälter (SPE) gewogen. Die erfassten Daten werden an den ausgewählten Adressen protokolliert, um folgende behälterspezifische Daten zu ermitteln:

- **Füllgrad [Vol.-%]**
Verhältnis des Volumens des Behälterinhalts zur bereitgestellten Behältergröße. Der Füllgrad wird unmittelbar vor der Probenahme in 10 %-Schritten geschätzt.
- **Raumgewicht [kg/l]**
Quotient aus der Masse des Inhalts einer SPE und dem bereitgestellten Volumen der SPE.
- **Schüttgewicht [kg/l]**
Quotient aus der Masse einer SPE und dem gefüllten Volumen der SPE.
Hohe Schüttdichten weisen auf schwere Abfallbestandteile (z. B. Organik wegen Wassergehalt) oder auf Verdichtung des Abfalls hin, während geringe Schüttdichten ein Anzeichen für sperrige oder voluminöse (meist Verpackungen) Abfälle sind.
- **Spezifisches bereitgestelltes Behältervolumen [$l/(E \cdot Wo)$]**
Jedem Einwohner pro Woche zur Verfügung stehendes Behältervolumen. Die Gebietskörperschaften legen in der Regel ein bestimmtes Mindestbehältervolumen in ihrer Abfallwirtschaftssatzung fest.
- **Spezifisches genutztes Behältervolumen [$l/(E \cdot Wo)$]**
Das tatsächlich genutzte Volumen pro Woche ergibt sich aus dem Produkt von Füllgrad und bereitgestellter Behältergröße. Dabei werden die angeschlossenen Einwohner und das Leerungsintervall berücksichtigt.

Nachdem die behälterspezifischen Daten bei der Probenahme erfasst wurden, werden das Abfallaufkommen und die -zusammensetzung mittels Sortierung der Abfälle ermittelt.

- **Spezifisches Abfallaufkommen [$kg/(E \cdot a)$]**
Das angefallene Abfallaufkommen pro Einwohner und Jahr ermöglicht einen direkten Vergleich zwischen den Gebietskörperschaften. Die Berechnung erfolgt in zwei Schritten:

Berechnung des einwohnerspezifischen Abfallaufkommens je Gebietsstruktur

Die Daten für die Sommer- und Wintersortierung werden separat ausgewertet. Nach Klassierung und Sortierung der SPE werden die Massen der einzelnen Fraktionen bestimmt und protokolliert, um nach Gleichung (1) für jede Schicht i (ländlich, städtisch, innerstädtisch) das einwohnerspezifische Abfallaufkommen m_i^a zu ermitteln. Dazu werden die recherchierten Einwohnerzahlen E_i^{bepr} und die Standzeiten der Behälter an den ausgewählten Adressen benötigt.

$$m_i^a = \frac{m_{\text{SP}}}{\sum V_{\text{EB}}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 (V_{\text{EB}} \cdot z_L)}{E_i^{\text{bepr}}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{E} \cdot \text{a}} \right]^2 \quad (1)$$

Laut [10] basiert diese Methode auf einer behälterspezifischen Betrachtung {genutztes Behältervolumen (V_{EB}), individuelle Standzeit (z_L)} sowie auf der Masse der SPE (m_{SP}). In den folgenden Rechenschritten wird dieses Schätzverfahren erläutert:

1. Berechnung der Schüttdichte (= Masse der SPE dividiert durch das genutzte Behältergesamtvolumen)
2. Berechnung des Jahresabfallvolumens {= Summe genutzte Behältervolumina multipliziert mit den Leerungshäufigkeiten (Quotient aus 52 [Wo/a] und Standzeit [Wo])}
3. Schätzung der Jahresabfallmasse aus der Schüttdichte und dem Jahresabfallvolumen

In der Vergangenheit wurden für die Berechnung des einwohnerspezifischen Abfallaufkommens je Gebietsstruktur die Massen der Stichprobeneinheiten dividiert durch die Anzahl der Einwohner und die mittlere Standzeit. Die Berechnung unter Verwendung der mittleren Standzeit der Einzelbehälter ist dann zulässig, wenn entweder alle Behälter die gleiche Standzeit aufweisen (z. B. Regelabfuhr) oder im Fall eines Ident-Systems die Standzeiten normalverteilt sind. Diese Bedingungen sind bei Gebietskörperschaften mit Ident-System meist nicht erfüllt. Viele Behälter besitzen unterschiedlich lange Standzeiten, weshalb die Berechnung unter Verwendung der mittleren Standzeit zu einer Über- oder Unterschätzung des Restmüllaufkommens führen würde. Aus diesem Grund wurde ein Schätzverfahren auf Basis der Gleichung (1) entwickelt, um die Mittelung der Standzeiten zu umgehen.

Zur Kontrolle der Güte der Berechnungsergebnisse gemäß Gleichung (1) wurden die Nettoabfallmassen jedes beprobten Restmüll- und Bioabfallbehälters separat bestimmt. Damit kann, wie nachstehend in Gleichung (2), ein Sollwert der einwohnerspezifischen Restmüll- und Bioabfallmasse pro Jahr ermittelt und mit Gleichung (1) verglichen werden.

$$m_i^a = \frac{\sum_{i=1}^3 (m_{\text{EB}} \cdot z_L)}{E_i^{\text{bepr}}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{E} \cdot \text{a}} \right]^2 \quad (2)$$

² Symbole, Indizes und Einheiten:

Symbole:		Indizes:		Einheiten:	
E	Einwohner	a	Jahr	a	Jahr
m	Masse	bepr	beprobte	E	Einwohner
V	Volumen	EB	Einzelbehälter	kg	Kilogramm
z	Anzahl, Häufigkeit	GK	Gebietskörperschaft		
		i	Schicht (Gebietsstruktur)		
		L	Leerung		
		SP	Stichprobe		

Der Sollwert des einwohnerspezifischen Abfallaufkommens der Stichprobe m_i^a ergibt sich analog zum Jahresvolumen V_{SP}^a aus der Leerungshäufigkeit und der beprobten Behälterzahl.

Hochrechnung auf die Gebietskörperschaft

Die Ergebnisse der Sommer- und Wintersortierung werden durch eine gewichtete Mittelwertbildung anhand der Einwohner in den drei Gebietsstrukturen i auf die Gebietskörperschaft hochgerechnet.

$$m_{GK}^a = \frac{\sum_{i=1}^3 (m_i^a \cdot E_i^{bepr})}{\sum_{i=1}^3 E_i} \left[\frac{\text{kg}}{\text{E} \cdot \text{a}} \right]^2 \quad (3)$$

Für die Berechnung des durchschnittlichen Jahresabfallaufkommens an Restmüll, Bioabfall und PPK wird die Jahresganglinie herangezogen. Die Gewichtung und anschließende Mittelung der Ergebnisse der Sommer- und Winterkampagne führen zu einem genaueren Ergebnis als die einfache Mittelwertbildung, da sie die Schwankungen des Abfallaufkommens im jahreszeitlichen Verlauf berücksichtigen. Der Jahresganglinie werden die monatlichen entsorgten Abfallmassen der letzten drei Jahre zugrunde gelegt. Aus der Trendlinie der Jahresganglinie und dem Abfallaufkommen im Untersuchungsmonat lässt sich der Gewichtungsfaktor für jede Kampagne berechnen.

Für die Wertstoffe LVP, Glas und Metalle liegen den Landratsämtern keine Monatsmengen vor, weshalb kein Abgleich mit der Jahresganglinie vorgenommen werden konnte.

Die im Holsystem erfassten Abfälle Restmüll, Bioabfall, PPK und LVP können eindeutig bestimmten Grundstücken und damit Einwohnern zugeordnet werden. Aus diesem Grund können für diese Abfallströme die Zusammensetzung sowie das einwohnerspezifische Abfallaufkommen (kg pro Einwohner und Jahr) für jede Gebietsstruktur und für die Gebietskörperschaft gesamt berechnet werden. Im Landkreis L26 ist für das Erfassungssystem Gelber Sack keine eindeutige Zuordnung zu den ausgewählten Haushalten möglich, da ein Großteil der Säcke von den Bürgern an geeigneten Stellen vor einzelnen Grundstücken zur Abholung bereitgestellt wird.

Im Bringsystem können die Depotcontainer keinen bestimmten Haushalten zugeordnet werden. Daher können für Glas und Metalle keine einwohnerspezifischen Daten zum Abfallaufkommen ermittelt, sondern nur Aussagen über die Abfallzusammensetzung je Gebietsstruktur und für die Gebietskörperschaft gesamt getroffen werden.

4.3 Auswahl der Gebietskörperschaften

Die Restmüll- und Wertstoffsorrieranalysen wurden in drei bayerischen Gebietskörperschaften mit durchaus vergleichbaren abfallwirtschaftlichen Strukturen und Gebührensystemen (Ident-Systeme) durchgeführt. Eine Übersicht über die Abfallerfassungssysteme in den drei Landkreisen L24, L25 und L26 gibt Tab. 2.

Tab. 2: Darstellung wichtiger abfallwirtschaftlicher Kenndaten der untersuchten Gebietskörperschaften L24, L25 und L26

Gebietskörperschaft	Gebühren-System	Holsystem				Bringsystem (Depotcontainer)	
		Restmüll-tonne	Biotonne	Papier-tonne	Gelber Sack	Glas ¹⁾	Metalle
L24	Ident-System	14-tägig		4-wöchig	nach Bedarf	nach Bedarf	
L25	Ident-System mit Gewichts- und Leerungsgebühr	14-tägig ²⁾ mit Verwiegung					
L26	Ident-System mit Gewichtsgebühr	14-tägig mit Verwiegung					— ³⁾

¹⁾ Farblich getrennt in Weiß-, Grün- und Braunglas

²⁾ Abholung der Biotonne erfolgt in den Sommermonaten (Juni–August) 7-tägig

³⁾ Entsorgung der Metalle erfolgt über den Gelben Sack oder an Wertstoffhöfen

Die zu untersuchenden Gebietskörperschaften liegen in den Regierungsbezirken Oberfranken, Unterfranken und Oberbayern. Die Ident-Systeme wurden vor über 10 Jahren eingeführt. Laut [28, S. 11] gehören die Landkreise den Strukturklassen ländlich (bis 125 Einwohner pro km²: Landkreise L24 und L26) sowie ländlich dicht (über 125 bis 500 Einwohner pro km²: Landkreis L25) an. Rund 72,4 % der bayerischen Bevölkerung lebte im Jahr 2013 in Gebietskörperschaften dieser beiden Strukturklassen.

4.3.1 Holsysteme

In allen drei Landkreisen erfolgt die Sammlung der Abfälle Restmüll, Bioabfall und PPK im „Drei-Tonnen-Holsystem“. Das heißt, jedem Haushalt stehen genormte Behälter, die von kommunalen oder privaten Entsorgungsunternehmen geleert werden, für die getrennte Erfassung der Abfälle zur Verfügung. In den untersuchten Gebietskörperschaften ist der Verzicht auf die Nutzung der Biotonne bei Eigenkompostierung möglich. Die Restmüll- und Biotonnen werden alle zwei Wochen im Wechsel geleert. Eine Ausnahme bildet der Landkreis L25 in den Sommermonaten: Aufgrund hygienischer Aspekte erfolgt die Leerung der Biotonne von Juni bis August wöchentlich.

Für die Erfassung des Restmülls und der Wertstoffe Bioabfall und PPK werden in den drei Gebietskörperschaften unterschiedliche Behältergrößen verwendet, vergleiche Tab. 3. Die Behältermindestgröße, die jedem Haushalt zur Verfügung steht, ist in den Abfallwirtschaftssatzungen festgelegt und kann sich auch nach der Personenanzahl im Haushalt oder im Haus richten. Für jeden Privathaushalt pro Person ist eine Restmüllkapazität von

- 8 Liter pro Woche im Landkreis L24
- 10 Liter pro Woche im Landkreis L25
- 5 Liter pro Woche im Landkreis L26

erforderlich.

Tab. 3: Verfügbare Behältergrößen für die getrennte Erfassung von Restmüll, Bioabfall und PPK in den drei Gebietskörperschaften L24, L25 und L26

Behältergröße	L24			Gebietskörperschaften L25			L26		
	RM-Tonne	Bio-Tonne	PPK-Tonne	RM-Tonne	Bio-Tonne	PPK-Tonne	RM-Tonne	Bio-Tonne	PPK-Tonne
60 l	—	—	—	—	x	—	—	—	—
80 l	x	—	—	—	—	—	—	—	—
120 l	x	x	x	x	x	—	x	x	x
240 l	x	x	x	x	—	x	x	x	x
660 l	x	—	—	x	—	—	—	—	—
1.100 l	x	—	x	x	—	x	x	—	x

Fallen in den Haushalten vorübergehend mehr Restabfälle als die verfügbaren Behältervolumina an, können in den Landkreisen L24 und L26 Restmüllsäcke erworben werden. Daneben gibt der Landkreis L24 gegen eine geringe Gebühr Windsäcke aus, um den zeitlich begrenzten Bedarf an zusätzlichem Restmüllbehältervolumen familienfreundlich abzufangen. Die Bürger im Landkreis L26 können eine Windeltonne in Anspruch nehmen, die zusammen mit der Restmülltonne geleert wird. Die Landkreise L24 und L25 gewähren Zuschüsse bei der Verwendung von Mehrwegwindeln.

Vor allem im Frühjahr und Herbst fallen vermehrt Gartenabfälle an, für die das Behältervolumen der Biotonne nicht ausreicht. Aus diesem Grund findet im Landkreis L25 zweimal jährlich eine Grüngut-sammlung im Holsystem statt, für die Grünabfallsäcke aus verstärktem Papier zu erwerben sind.

Leichtverpackungen werden in allen drei Gebietskörperschaften über den Gelben Sack erfasst. Die Gelben Säcke werden im Auftrag des Dualen Systems Deutschland GmbH (DSD) durch private Entsorgungsfirmen gesammelt.

Für gefährliche Abfälle, die nicht über den Hausmüll entsorgt werden dürfen, findet in allen drei Gebietskörperschaften eine kostenlose mobile Problemabfallsammlung statt. Das Schadstoffmobil fährt alle Landkreisgemeinden zweimal, in einer Gebietskörperschaft dreimal im Jahr an.

Die Abholung des Sperrmülls findet in allen drei Gebietskörperschaften zweimal jährlich auf Abruf statt. Die Inanspruchnahme der Sperrmüllfassung ist im Landkreis L24 in der Abfallgebühr enthalten. In den anderen beiden Gebietskörperschaften L25 und L26 fallen je eine Grund- (L25, L26) und Gewichtsgebühr (L25) für die Anfahrt und Entsorgung des Sperrmülls an.

4.3.2 Bringsysteme

4.3.2.1 Depotcontainer

Zur bürgernahen Erfassung von Wertstoffen im Bringsystem haben die drei Gebietskörperschaften in den Städten und Gemeinden Wertstoffinseln eingerichtet. An Wertstoffinseln werden über so genannte Depotcontainer Glas und mit Ausnahme des Landkreises L26 Metalle erfasst. Das Fassungsvermögen der Depotcontainer liegt zwischen 1,1 und 10,5 m³ (vergleiche Abb. 8 bis Abb. 10).



Abb. 8: Depotcontainer für Altglas und 1.100 l Müllgroßbehälter für Altmittel im Landkreis L24



Abb. 9: Mehrkammer-Depotcontainer für Altglas und IGLU®-Sammelcontainer für Dosen im Landkreis L25



Abb. 10: 1.100 l Müllgroßbehälter für Altglas im Landkreis L26

In Tab. 4 sind Daten zu den Containerstandorten für die Erfassung von Altglas und Metallverpackungen aufgeführt. In den Daten sind die frei zugänglichen Containerstandplätze – ohne Wertstoffhöfe – berücksichtigt. Die Entleerung der Depotcontainer erfolgt nach Bedarf.

Tab. 4: Anzahl der Wertstoffinseln und Standortdichten in den drei Gebietskörperschaften L24, L25 und L26. Einwohner- und Flächendaten nach [29] (Stand 31.12.2012)

Gebietskörperschaft	Anzahl Standorte	Standortdichte		
		[E/Standort]	[Standort/km ²]	[Standort/km ²] ¹⁾
L24	260	553	0,22	0,38
L25	180	959	0,26	0,62
L26	80 ²⁾	735	0,10	0,18

¹⁾ Fläche abzüglich gemeindefreier Gebiete sowie Wald- und Wasserflächen

²⁾ Im Landkreis L26 sind keine Depotcontainer für Altmittel eingerichtet

4.3.2.2 Wertstoff- und Recyclinghöfe

Ein zusätzliches Angebot für die Erfassung der Wertstoffe stellen in allen drei Gebietskörperschaften die Wertstoff- oder Recyclinghöfe dar.

Landkreis L24

Im Landkreis gibt es insgesamt 11 Wertstoffhöfe. Anlieferberechtigt sind alle Bürger und Gewerbebetriebe des Landkreises. Die Öffnungszeiten unterscheiden sich im Sommer und Winter sowie zwischen den Standorten.

Für größere Mengen an Garten- und Grünabfällen stehen Kompostplätze von privaten Betreibern zur Verfügung. Dort können bis zu 2 m³ Grünabfälle kostenlos abgegeben werden.

Landkreis L25

An 30 Recyclinghöfen (davon 29 gemeindeeigene) können Wertstoffe in haushaltsüblichen Mengen abgegeben werden. Die gemeindeeigenen Recyclinghöfe stehen nur den Gemeindebewohnern zur Verfügung. Am landkreiseigenen Recyclinghof können alle Bürger des Landkreises Wertstoffe und in Kleinmengen Problemabfälle abgeben. Das Angebot an Entsorgungsmöglichkeiten und die Öffnungszeiten an den einzelnen Standorten sind nicht in jeder Gemeinde gleich.

Energiesparlampen werden aufgrund des Gefährdungspotenzials für Mitarbeiter nicht an den Wertstoffhöfen angenommen. Diese können am Schadstoffmobil abgegeben werden, das zweimal im Jahr jede Gemeinde anfährt.

Landkreis L26

An 18 Wertstoffhöfen haben die Bürger des Landkreises die Möglichkeit, Wertstoffe in haushaltsüblichen Mengen abzugeben. Die Öffnungszeiten unterscheiden sich zwischen den einzelnen Standorten.

Im Landkreis kann sperriges Grüngut im Rahmen einer Sonderaktion zweimal im Jahr (Frühjahr und Herbst) kostenlos an allen Wertstoffhöfen oder an ausgewiesenen Sammelplätzen angeliefert werden.

4.3.3 Abfallgebührensyste~~m~~e

Bei Ident-Systemen fällt neben einer Grund- eine Leistungsgebühr pro Leerung und/oder Gewicht an. Um die in Anspruch genommenen Leerungen den Abfallerzeugern zuordnen zu können, werden die Abfallbehälter vom Entsorgungsfahrzeug elektronisch identifiziert (Ident-System). Die Identifizierung erfolgt entweder elektronisch (Transponder) oder optisch (Barcode). Bei Ident-Systemen mit Verwiegung wird gleichzeitig die Abfallmasse am Sammelfahrzeug während des Leerungsvorgangs erfasst.

4.3.3.1 Ident-System im Landkreis L24 (Leistungsgebühr pro Leerung mit vorgegebener Mindestleerungszahl)

Im Landkreis L24 fallen für die Inanspruchnahme der öffentlichen Abfallentsorgungseinrichtungen eine Grund- und eine Leistungsgebühr an. Die Grundgebühr bestimmt sich nach der Anzahl und dem Fassungsvermögen der Restmüllbehälter, die Leistungsgebühr nach der Anzahl der Leerungen. Dabei können von 26 Leerungen im Jahr bis zu 8 eingespart werden. Das Guthaben für die nicht in Anspruch genommenen Leerungen wird mit der ersten Fälligkeit der Gebühren des Folgejahrs verrechnet.

Die Nutzung der Biotonne ist in den Abfallgebühren enthalten.

Fallen größere Mengen an Restmüll oder Windeln an, können Restmüllsäcke (70 l) gegen eine Gebühr von 3,60 €/Stück und Windelsäcke zu einem vergünstigten Stückpreis von 1,50 € erworben werden.

4.3.3.2 Ident-Systeme mit Verwiegung in den Landkreisen L25 und L26 (Leistungsgebühr pro Leerung und/oder Gewichtsbezug)

Die Gebietskörperschaften L25 und L26 haben bereits vor dem Jahr 2000 ein Verwiegesystem eingeführt.

Im Landkreis L25 ergibt sich die Abfallgebühr aus einer Grundgebühr, die sich nach dem zur Verfügung stehenden Restmüllbehältervolumen richtet, sowie einer Leistungsgebühr. Die Leistungsgebühr setzt sich wiederum aus einer Leerungs- und Gewichtsgebühr zusammen. Bei Bioabfall entfällt die Grundgebühr, stattdessen wird nur die Leistungsgebühr fällig.

Für einen außerordentlichen Anfall an Restmüll können im Landkreis L25 Restmüllsäcke (70 l) zu einem Stückpreis von 12 € erworben werden. Die Säcke werden nicht gewogen, da die Entsorgungskosten im Kaufpreis enthalten sind.

Die Grundgebühr im Landkreis L26 für Restmüll und Bioabfall bestimmt sich nach dem bereitgestellten Restmüllbehältervolumen. Entsprechend dem Volumen der Restmüllbehälter werden die Bioabfallbehälter bereitgestellt. Die Leistungsgebühr beinhaltet keine extra Leerungsgebühr, sondern eine Gewichtsgebühr sowohl für Restmüll als auch für Bioabfall.

Für einen außerordentlichen Anfall an Restmüll können im Landkreis L26 Restmüllsäcke (70 l) zu einem Stückpreis von 10 € erworben werden. Ebenso wie im Landkreis L25 sind die Entsorgungskosten mit dem Kaufpreis abgegolten.

Die Windeltonnen im Landkreis L26 werden gewogen und nach Gewicht abgerechnet. Die Gewichtsgebühr beträgt 0,30 €/kg, während die Grundgebühr entfällt.

4.3.3.3 Vergleich der Abfallgebühren

Die Jahresabfallgebühren in den drei Gebietskörperschaften sind am Beispiel eines Zwei-Personen-Haushalts in Abb. 11 dargestellt. Im Durchschnitt leben 2,02 Personen pro Haushalt in Deutschland [30]. Von den insgesamt 40.439 Tsd. deutschen Haushalten im Jahr 2011 sind 34,3 % Zwei-Personen-Haushalte.

Ausgangspunkt der Betrachtung ist ein jährliches Abfallaufkommen von 75 kg Restmüll und 50 kg Bioabfall pro Person. Das realitätsnahe Beispiel zeigt beträchtliche Unterschiede in den Entsorgungsgebühren für den Bürger in den drei Landkreisen: Während die Müllgebühren in den Landkreisen L24 und L25 auf ähnlichem Niveau liegen, sind die Gebühren im Landkreis L26 deutlich (+70 %) höher. Dies liegt vor allem an der hohen Grundgebühr für Restmüll, während sich die Gebühren für Bioabfall in den Landkreisen L25 und L26 auf einem ähnlichen, im Vergleich zum Restmüll deutlich niedrigeren Niveau bewegen.

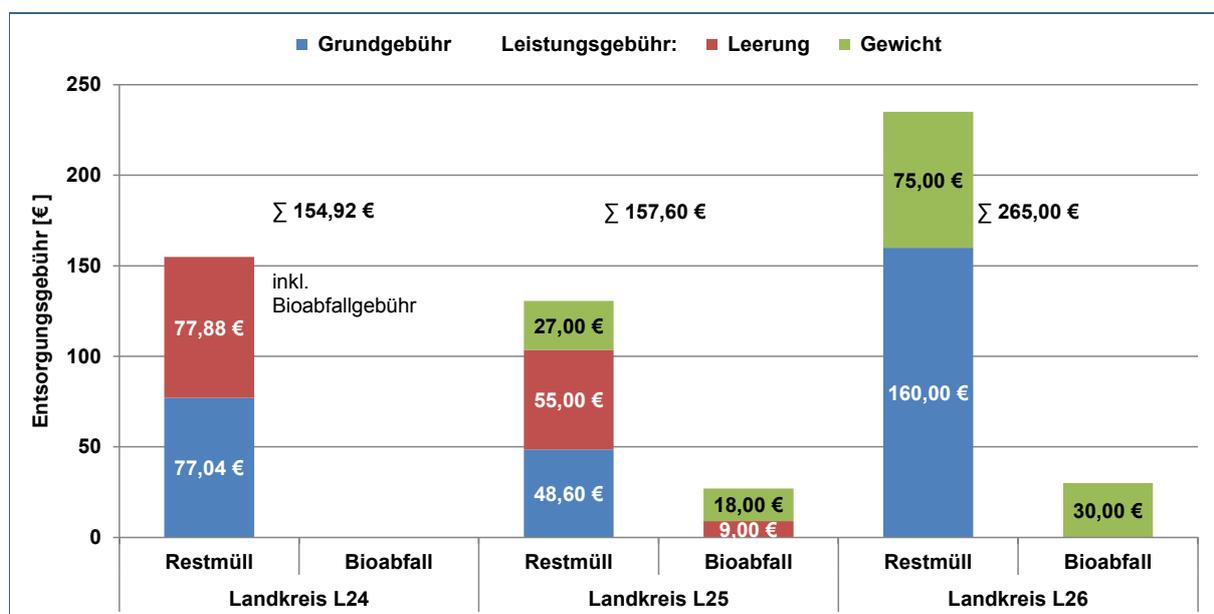


Abb. 11: Höhe der Jahresabfallgebühr in den drei Gebietskörperschaften L24, L25 und L26 am Beispiel eines Zwei-Personen-Haushalts mit einer 120 l-Tonne {22 Leerungen (Restmüll und Bioabfall) pro Jahr}, einem Restmüllaufkommen von 150 kg und einem Bioabfallaufkommen von 100 kg pro Jahr

4.3.4 Verwertungswege ausgewählter Wertstofffraktionen

Der Transportweg eines Wertstoffs zum Verwerter verläuft oftmals über mehrere Stationen: Die Wertstoffe werden von einer privaten Entsorgungsfirma gesammelt und z. B. an einer Müllumladestation oder auf dem Firmengelände eines Privatunternehmens umgeschlagen, bevor sie von einem Speditionunternehmen zum Verwerter transportiert werden.

Bei den Wertstoffen Bioabfälle und PPK sind die Verwertungswege bekannt. Im Unterschied dazu ließen sich die Verwertungswege der LVP, Glas und Metalle nicht ermitteln. Die Erfassung dieser Wertstoffe erfolgt in allen drei Gebietskörperschaften durch die Dualen Systeme. Mit der Sammlung und dem Transport sind regionale Entsorgungsfirmen als Vertragspartner der Dualen Systeme beauftragt. Die Verwerter werden von den Dualen Systemen nicht genannt.

Nachstehend sind die recherchierten Verwertungswege für Bioabfälle und PPK in den drei Gebietskörperschaften aufgeführt.

Bioabfälle

Die überwiegende Verwertung (circa $\frac{3}{4}$) der Bioabfälle geschieht im **Landkreis L24** in einer Bioabfallvergärungsanlage. Im Jahr 2012 wurden 7.647 Mg Bioabfälle aus dem Landkreis L24 von einem regionalen Entsorgungsunternehmen gesammelt und angeliefert [28]. Circa $\frac{1}{4}$ des Bioabfallaufkommens des Landkreises wird in einer Kompostieranlage behandelt. Bevor die Bioabfälle in die Vergärung oder Kompostierung gelangen, werden diese von Fremd- und Störstoffen befreit. Der Störstoffanteil bei den angelieferten Bioabfällen liegt bei circa 3 bis 5 Mass.-%.

Die Verwertung der Bioabfälle aus dem **Landkreis L25** erfolgt in einer Bioabfallvergärungsanlage. Die Grünabfälle werden zu Kompost verarbeitet. Aus den jährlich etwa 15.000 Mg angelieferten Bioabfällen entstehen circa 1,4 Mio. m³ Gas, das rund 3 Mio. kWh Strom liefert. Der Strom wird in das lokale Netz eingespeist und die Abwärme zum Teil für den Anlagenbetrieb und zur Heizung umliegender Betriebsgebäude genutzt. Die Gärreste werden gemeinsam mit den Grünabfällen kompostiert und dienen als Dünger.

Der Störstoffanteil im Bioabfall liegt in der Regel unter 3 Mass.-%, wobei dieser Wert von der jeweiligen Gebietsstruktur abhängt und Schwankungen unterliegt. Die Anlagenbetreiber stehen im Landkreis oftmals vor dem Problem, dass Bioabfälle in Müllbeuteln aus Kunststoff oder kompostierbaren Bioabfallbeuteln entsorgt werden. Dies führt zu niedrigeren Gaserträgen, da sich die Müllbeutel aus Kunststoff oder die kompostierbaren Bioabfallbeutel nicht oder zu langsam zersetzen. Der Inhalt der Biotonnen gelangt ohne Vorsortierung in die Bioabfallvergärungsanlage.

Den Entsorgungsauftrag für Bioabfall im **Landkreis L26** teilen sich zwei private Entsorgungsfirmen. Eine der Firmen transportiert die Bioabfälle von der Müllumladestation zu einem regionalen Recyclingunternehmen. Der Störstoffanteil der angelieferten Bioabfälle liegt bei 5 bis 7 Mass.-%, wovon den größten Anteil die Kunststoffe ausmachen. Der maximal zulässige Wert beträgt 7 Mass.-%. In mehrstufigen und -wöchigen Prozessen verrotten die Bioabfälle zu Kompost, der in der Regel von Landwirten aus der Region gekauft wird.

PPK

Die Sammlung von PPK erfolgt im **Landkreis L24** durch einen privaten Entsorger aus dem Landkreis, dessen Firmengelände auch als Umschlagplatz dient. Von dort wird das Altpapier zu einer Wertstoffsartieranlage transportiert und entsprechend der Europäischen Altpapier-Sortenliste (EN 643) [26] getrennt. Die sortenreinen Fraktionen werden deutschlandweit an Papierfabriken weiterverkauft.

Die Sammlung und Sortierung von PPK wird im **Landkreis L25** von einem privaten Entsorger durchgeführt. In der Sortieranlage des Entsorgers wird der Inhalt der Papiertonnen in die Fraktionen Zeitungen und Zeitschriften, Pappe und Kartonagen, Mischpapier und Restmüll getrennt. Die Qualitäten der sortenreinen Fraktionen müssen den Vorgaben der Europäischen Altpapier-Sortenliste (EN 643) [26] entsprechen. Die sortierten Fraktionen werden deutschlandweit an Papierfabriken weiterverkauft.

Mit der Sammlung und Sortierung von PPK ist im **Landkreis L26** eine private, lokal ansässige Entsorgungsfirma beauftragt. Die Fehlwurfquote bei der Papiertonne liegt circa zwischen 0,5 und 2 Mass.-%. Der Inhalt der Papiertonnen wird in einer Sortieranlage in die Fraktionen Zeitungen und Illustrierte, Pappe und Kartonagen sowie Mischpapier aufbereitet. Die sortierten Fraktionen werden per Bahn zu regionalen Papierfabriken transportiert.

4.4 Analytik

4.4.1 Analysestoffgruppen

Neben der Bestimmung des Aufkommens und der Zusammensetzung von Restmüll und der getrennt erfassten Wertstoffe ist die physikalisch-chemische Analytik ein weiterer Schwerpunkt dieses Vorhabens. Die bisherige Methodik des BayLfU [11] wurde beibehalten, um die vorhandene Datenbasis zu erweitern und die aktuellen mit den bestehenden Daten vergleichen zu können.

Unter Berücksichtigung stofflicher Ähnlichkeiten wurden von den 44 Sortierfraktionen 20 ausgewählt und zu 10 Analysestoffgruppen (ASG) zusammengefasst (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Zusammenfassung ausgewählter Sortierfraktionen zu Analysestoffgruppe

Analysestoffgruppe (ASG)	Sortierfraktionen	Anzahl Proben
Restmülltonne		
Feinfraktion	Feinfraktion (< 10 mm)	6
Mittelfraktion	Mittelfraktion (10–40 mm)	6
Organik	Gartenabfälle Küchenabfälle Sonstige organische Stoffe	6
Sonstige Kunststoffe	Sonstige Kunststoffe	6
Sonstige Verbunde	Sonstige Verbunde	6
Schuhe	Schuhe	6
Wertstofftonnen		
Organik	Gartenabfälle Küchenabfälle Sonstige organische Stoffe	6
PPK	Druckerzeugnisse + Papier groß Papier- und Karton-Verpackungen Sonstiges Papier Sonstige Kartonagen Kleinpapier	6
Kunststoffverpackungen inklusive Folien	Kunststoffverpackungen Kunststofffolien (Verpackungen) Folien (keine Verpackungen)	6
Verbundverpackungen	Verbundverpackungen	6
Gesamt		60

Die ASG Fein- und Mittelfraktion, Organik, Sonstige Kunststoffe, Sonstige Verbunde und Schuhe sind von besonderem Interesse, da diese in der Regel hohe Schwermetallgehalte aufweisen und somit am

stärksten belastet sind. Bei den Wertstoffen beschränkt sich die Analytik auf die Analysestoffgruppen Organik, PPK, Kunststoffverpackungen inklusive Folien, Verbundverpackungen und Glas, die aus den entsprechenden Wertstoff-Sammelsystemen (Bio-, Papiertonne, Gelber Sack, Glascontainer) entnommen wurden. Diese Daten sind für die Bewertung des weiteren Entsorgungsweges von Interesse. Insgesamt werden von jeder Analysestoffgruppe 6 Proben aus dem Restmüll oder aus den Sammelsystemen gezogen.

Aufgrund eingeschränkter Aufbereitungstechniken bleibt der Wertstoff Metalle bei der physikalisch-chemischen Analytik unberücksichtigt.

4.4.2 Probenahme und Vorbereitung

Nach der mechanischen Klassierung und manuellen Sortierung einer SPE sowie der Verwiegung aller separierten Fraktionen erfolgt die Probenahme für die Analytik. Dabei richtet sich die Probenahme der Analysestoffgruppen nach den Vorgaben der LAGA PN 98 [31]. Je Sortierkampagne wurden 11 oder 10 Proben für die Analytik gezogen.

Der mechanisch klassierte Fein- und Mittelmüll (Restmüll) jeder SPE wird mit Hilfe der mobilen Abfallsortieranlage in 240 l Tonnen ausgetragen. Pro SPE wurden nach Durchmischen der Behälter von jeder Fraktion circa 500 ml als Probe gezogen und zu einer 10 l-Mischprobe zusammengeführt.

Die 44 Fraktionen des Grobmülls (Restmüll und Wertstoffe) werden dagegen in 120 l Behälter oder Bottiche manuell sortiert. Für jede Analysestoffgruppe wurden nach Verwiegung der Sortierfraktionen mindestens drei Einzelproben entnommen und in verschließbaren Kunststoffsäcken aufbewahrt. Die Mischprobe einer Analysestoffgruppe umfasste ein Volumen von maximal 120 l.

Am Ende einer Sortierkampagne wurden die Mischproben der Analysestoffgruppen zu Laborproben reduziert. Dazu wurden die ASG mit Hilfe eines Zweiwellenzerkleinerers, der in die mobile Abfallsortieranlage integriert ist, vorzerkleinert und vor Ort in ausgewogene Gefriertrocknungsgefäße (Nennvolumen: 1.200 ml) gefüllt. Fein- und Mittelmüll wurden aufgrund ihrer Korngröße $d_p < 40$ mm direkt in die Gefriertrocknungsgefäße umgefüllt. Um Verunreinigungen zu vermeiden, wurde die Vorzerkleinerung unter Berücksichtigung der jeweiligen Belastung der ASG durchgeführt (Anstieg der voraussichtlichen Belastung).

Für den Biogasertagstest wurden von der mechanisch klassierten Mittelfraktion und der ASG Organik des sortierten Grobmülls des Bioabfalls mindestens drei Einzelproben durch das BayLfU entnommen, die zu einer Mischprobe in verschließbaren 5 l-Behältern zusammengeführt wurden. Die Bioabfallproben wurden bis zum Ansetzen des Versuchs kühl (0–4 °C) und dunkel gelagert.

In einem externen Labor schlossen sich nach der Gefriertrocknung (siehe 4.4.3) weitere Zerkleinerungsschritte an. Zuvor wurden Glas und Metalle weitestgehend aussortiert, um Verschleiß und Abrieb an den Mahlwerkzeugen zu verhindern. Mit Ausnahme der Feinfraktion wurden die Proben mit einer langsam laufenden Schneidmühle zuerst auf $d_p < 10$ mm, im weiteren Verlauf auf $d_p < 2$ mm zerkleinert. Im letzten Schritt wurden alle ASG mit einer schnell laufenden Schneidmühle auf die geforderte Analysekorngöße $d_p < 0,5$ mm gebracht. Lediglich bei der spröden ASG Glas wurde zur Zerkleinerung eine Planetenkugelmühle herangezogen. Da die Zerkleinerung bei einigen ASG zu einer Überhitzung der Mahlwerkzeuge und des Probenmaterials führt, wurde in diesen Fällen eine Kryomühle verwendet. Bei dieser Methode wird die Probe unter Versprödung des Materials mittels flüssigen Stickstoffs zerkleinert. Von jeder Analysestoffgruppe wurden etwa 300 g der getrockneten Probe auf Analysekorngöße $d_p < 0,5$ mm gebracht.

4.4.3 Analysemethoden

Von jeder Analysestoffgruppe wurden die physikalisch-chemischen Summenparameter Wassergehalt, Glühverlust und Heizwert bestimmt. Des Weiteren wurden die Elemente Kohlenstoff, Schwefel, Chlor, Calcium, Kalium und die Spurenelemente Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink und Zinn untersucht.

Die Ermittlung der Analysendaten erfolgte in der Regel durch Dreifachbestimmungen. Nachfolgend werden die Analysemethoden genannt.

Physikalisch-chemische Summenparameter

Der **Wassergehalt** der Analysenproben wurde nach DIN 38 414-22 mittels Gefriertrocknung ermittelt [32].

Die Bestimmung des **Glühverlustes** erfolgte gemäß DIN EN 15 169 durch Glühen der Proben bei 550 °C im Muffelofen bis zur Gewichtskonstanz [33].

Entsprechend DIN 51 900 (adiabatische Methode) wurde der **Heizwert** der Restmüll- und Wertstoffanalysestoffgruppen mit einem Kalorimeter ermittelt [34, 35].

Anorganische Parameter

Die Bestimmung von **Wasserstoff** und **Stickstoff** erfolgte aus der gefriergetrockneten Probe mit einem Kohlenstoff/Wasserstoff/Stickstoff-Analysator.

Gemäß DIN EN 13137 wurde der **Gesamtkohlenstoff** und **Schwefel** aus den Gefriertrockenrückständen mit einem Kohlenstoff/Schwefel-Analysator bestimmt [36]. Der mit dieser Methode ermittelte Gehalt an Gesamtkohlenstoff (TC) enthält neben dem Kohlenstoff der anorganischen Bestandteile (TIC) auch den organisch gebundenen und den elementar in der Probe vorhandenen Kohlenstoff (TOC).

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) diente zur Ermittlung der **Elementgehalte** von Blei, Cadmium, Calcium, Chlor, Chrom, Eisen, Kalium, Kupfer, Magnesium, Mangan, Natrium, Nickel, Phosphor, Zink und Zinn. Dabei wurden die zu Tabletten gepressten Abfallproben mit einem Sequenz-Röntgenspektrometer untersucht.

Biogasertragstest

Die Bestimmung des Biogasbildungspotenzials erfolgte gemäß DIN 38 414-8 (Bestimmung des Faulverhaltens) durch ein externes Labor [37]. Das Faulverhalten gibt Aufschluss über den anaeroben Abbau der Bioabfälle innerhalb eines bestimmten Zeitraums, gemessen an der Biogasproduktion.

Von den auf < 10 mm vorzerkleinerten Proben wurden vor dem Versuch der Trockensubstanzgehalt (Glührückstand) und der organische Trockensubstanzgehalt (Glühverlust) vom BayLfU analysiert. Diese Parameter werden für die Auswertung des Biogasbildungspotenzials benötigt, da der Anteil an organischen Stoffen im Bioabfall nicht direkt bestimmbar ist.

Von der ASG Organik und der Mittelfraktion des Bioabfalls wurden Bioabfallmaischen hergestellt, die in die Ansätze einer Versuchsanordnung zur Biogasbildung eingewogen wurden. Die produzierten Biogasvolumina wurden über 4 Wochen mindestens dreimal pro Woche abgelesen. Daraus ergibt sich der kumulierte Biogasertrag. Nach Versuchsende wurde der pH-Wert der Faulsuspension kontrolliert, um potenziell hemmende Einflüsse auf den Faulprozess durch Versäuerung erkennen zu können.

Neben der Dreifachbestimmung der Untersuchungsproben wurden zur Kontrolle des Abbaupotenzials des Impfschlammes drei Faulansätze mit Cellulose mitgeführt. Cellulose stellt ein geeignetes Prüfsubstrat zur Bewertung der Abbauleistung von Faulschlämmen dar, da sie schwer abbaubar ist. Dies führt zu der Annahme, dass die in biogenen Abfällen vorhandenen leichter abbaubaren Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße in jedem Fall zu Biogas umgesetzt werden, wenn die Vergleichsprobe mit Cellulose vollständig zu Biogas umgewandelt wurde.

Das im Untersuchungszeitraum gebildete Biogas wurde in Gasbeuteln gesammelt und die Biogaszusammensetzung chromatographisch nach Versuchsende bestimmt.

5 Ergebnisse und Diskussion³

In Kapitel 5 „Ergebnisse und Diskussion“ werden die Ergebnisse der aktuellen Untersuchung für Restmüll und die getrennt erfassten Wertstoffe Bioabfall, Papier, Pappe, Kartonagen, Leichtverpackungen, Behälterglas und Metalle dargestellt.

5.1 Behälterstandzeiten und Hochrechnung

Die Behälterstandzeiten – die Zeitspanne, bis der Bürger den Abfallsammelbehälter bis zur erneuten Leerung bereitstellt – sind bei Ident-Systemen im Unterschied zur Regelabfuhr für die Hochrechnung der Daten die entscheidende Größe.

Ident-Systeme mit gewichts- und leerungsbezogener Gebühr (siehe Abschnitt 4.3.3.2) bieten dem Bürger Anreize zur Kosteneinsparung. Dies führt dazu, dass Behälter seltener zur Leerung bereitgestellt werden.

In den Landkreisen L24 (Leistungsgebühr pro Leerung mit vorgegebener Mindestleerungszahl) und L26 (Leistungsgebühr mit Gewichtsbezug) kommt das Entsorgungsverhalten der Bürger nahe an das bei einer Regelabfuhr heran. Über 90 % des Restmülls werden in Behältern mit einer Standzeit von 2 Wochen bereitgestellt, so dass die in Abschnitt 4.2 dargestellte Auswertemethode erfolgreich angewandt werden kann.

Im Landkreis L25 lagen die durchschnittlichen Standzeiten aller Restmüll- und Bioabfallgefäße im Jahr 2012 bei 7,5 und 4,6 Wochen. Die Restmüllbehälter mit der Standzeit 2 Wochen tragen circa 60 % zum Gesamtrestmüllaufkommen bei. Die durchschnittliche Bereitstellungsquote zur Leerung aller ausgegebenen Bioabfallgefäße beträgt 26,5 %. Der Landkreis weist bei den Restmüll- und Bioabfallgefäßen zum Teil sehr hohe, stark streuende Standzeiten auf. Mit der bislang durchgeführten Vorgehensweise zur Probenahme und Hochrechnung (siehe Abschnitte 4.1.1 und 4.2) konnten keine plausiblen Untersuchungsergebnisse für Rest- und Bioabfall erzielt werden.

Die Schwierigkeit liegt einfach darin, bei Identsystemen mit einem nach dem Leistungskatalog differenzierten Gebührensystem (Gewichts- und Leerungsgebühr), das zwangsläufig Auswirkungen auf die Bereitstellung der Behälter hat, eine repräsentative Probe (= Stichprobeneinheit) zu bekommen, in der sich das Abfallaufkommen z. B. entsprechend der Behälterstandzeit Eins zu Eins widerspiegelt.

Unsere Erfahrung zeigt, dass es trotz intensiver Planung der Probenahme nicht immer gelingt, die Stichprobeneinheiten unter den Bedingungen gewählte Gebietsstruktur, Behältergröße und -standzeit, kein Geschäfts-/Gewerbeabfall zu erhalten. Während bei einer Regelabfuhr oder bei einem Identsystem ohne Leerungsgebühr der Bürger die Behälter in einem regelmäßigen Turnus – 1, 2 oder 4 Wochen – zur Abfuhr bereitstellt, sieht diese Situation bei Vorhandensein einer Leerungsgebühr anders aus. Den Behälter stellt der Bürger dann zur Leerung bereit, wenn das Restvolumen nicht mehr bis zum nächsten Leerungstermin ausreicht. Damit steht der Probenehmer oftmals vor der Situation, dass die zu beprobende Tonne/-ngröße nicht zu Verfügung steht und dafür ein Ersatzbehälter zu finden und zu beproben ist. Inwieweit unter diesen Umständen die Stichprobeneinheit unter den oben genannten Faktoren repräsentativ ist, kann erst im Nachhinein – z. B. nach Ermittlung der jeweiligen Standzeiten – festgestellt und rechnerisch abgeglichen werden.

Die Hochrechnung erfolgte auf Basis der Abfallmassen jedes der beprobten Einzelbehälter unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung der Standzeiten der Abfallbehälter für den gesamten Land-

³ Sämtliche Zahlenangaben sind jeweils für sich gerundet, so dass sich bei der Rechnung von gerundeten Zahlenwerten (Addition, Multiplikation) geringfügige Abweichungen zu den Textangaben ergeben können.

kreis L25 im Jahr 2013 (Schichtung nach Behälterstandzeiten). Dabei konnte die Hochrechnung für das einwohnerspezifische Abfallaufkommen im gesamten Landkreis, nicht aber für die einzelnen Gebietsstrukturen (ländlich, städtisch, innerstädtisch) durchgeführt werden. Ein Abruf der Behälter- und Leerungsstatistiken war aus datentechnischen Gründen nur für den gesamten Landkreis, jedoch nicht für einzelne Gebietsstrukturen möglich. Das spezifische Abfallaufkommen der Gebietsstrukturen ländlich, städtisch und innerstädtisch wurde nach herkömmlicher Methodik (Schichtung nach Gebietsstrukturen) hochgerechnet und anschließend mit dem sich ergebenden Korrekturfaktor angepasst.

Nicht in der Auswertung berücksichtigt werden konnte der beträchtliche Anteil an nicht geleerten Behältern (16 % aller Restmüll- und 25 % aller Biotonnen im Jahr 2013). Das Landratsamt des Landkreises L25 verfügt über keine Angaben zu diesen Behältern hinsichtlich ihrer Nutzung (privat, geschäftlich oder gemischt). Nicht geleerte Behälter sind z. B. die bei Mehrfamilienhäusern ungenutzten Behälter, die aufgrund der Abfallsatzungen bereitzustellen sind, oder Biotonnen, die aufgrund der Eigenkompostierung ungenutzt bleiben.

Ein weiteres Problem bei der Auswertung resultierte daraus, dass dem Landratsamt L25 keine behälterspezifischen Nutzerdaten vorliegen. Die Gebührenbescheide richten sich an die Grundstückseigentümer, nicht an die einzelnen Haushalte. Das Landratsamt verfügt über keine Informationen, wie viele Personen einen bestimmten, über die Behälternummer identifizierbaren Abfallbehälter nutzen. Abweichend von der bisherigen Vorgehensweise wurden für die beprobten Restmüll- und Bioabfallgefäße die Leerungshäufigkeiten des Kalenderjahres 2013 herangezogen, um die Nutzerzahl pro Behälter realistisch angeben zu können.

5.2 Restmüll

5.2.1 Aufkommen

Das ermittelte Restmüllaufkommen in den untersuchten Gebietskörperschaften liegt zwischen 49,1 und 95,5 kg/(E · a). Diese stark voneinander abweichenden Werte sind sicherlich auf den unterschiedlichen Einfluss der gewichtsbezogenen Entsorgungsgebühren in den drei Landkreisen zurückzuführen. Im Landkreis L24 hängen die Müllgebühren von der Anzahl der Leerungen ab, die über die vorgegebene Mindestleerungszahl hinausgehen. Das Restmüllaufkommen beträgt in diesem Landkreis 95,5 kg/(E · a). In den Landkreisen L25 (mit) und L26 (ohne Leerungsgebühr), in denen der Restmüll verwogen wird, liegt das Restmüllaufkommen mit 55,4 und 49,1 kg/(E · a) deutlich niedriger.

Ein nach Einwohnern gewichteter Mittelwert hinsichtlich Aufkommen und Zusammensetzung von Restmüll und Bioabfall wurde wegen des unterschiedlichen Aufkommens für die drei Landkreise nicht berechnet.

Die Abfallbilanz 2013 weist für Bayern ein spezifisches Haus- und Geschäftsmüllaufkommen von 145,1 kg/(E · a) aus [28, S. 64]. Abzüglich des Geschäftsmüllanteils von circa 30 Mass.-% [38, 39] resultiert ein spezifisches Restmüllaufkommen von 101,6 kg/(E · a). Gegenüber diesem Wert liegt das spezifische Abfallaufkommen der drei untersuchten Gebietskörperschaften teilweise deutlich darunter. So sind in den Landkreisen L25 und L26 die Werte um 45 % und 52 % niedriger als der bayernweite Durchschnitt.

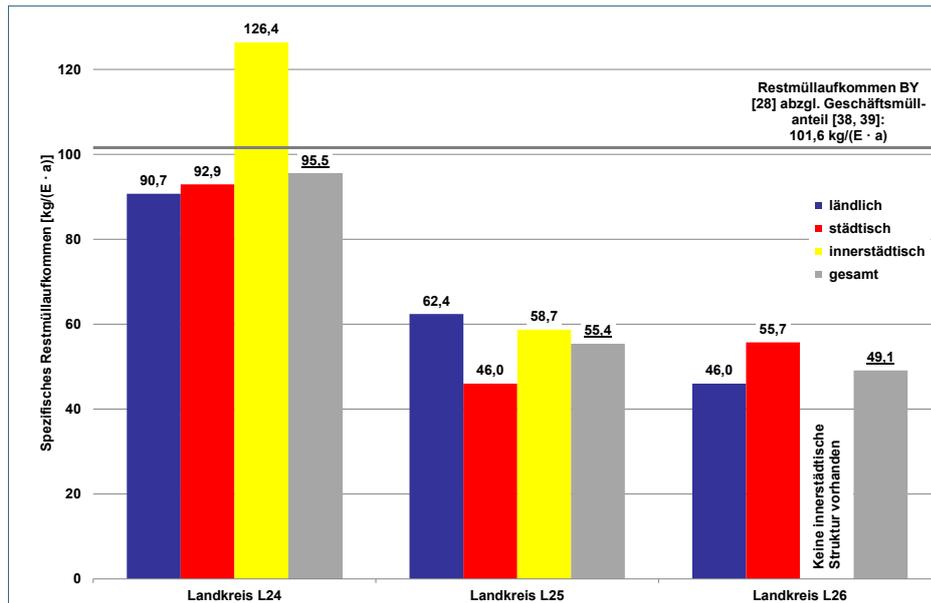


Abb. 12: Durchschnittliches spezifisches Restmüllaufkommen aus Haushalten in den drei Landkreisen L24, L25 und L26, differenziert nach Gebietsstrukturen und gesamt, im Vergleich zum Restmüllaufkommen in Bayern (ohne Geschäftsmüll)

Differenziert nach den einzelnen Gebietsstrukturen steigt in den Landkreisen L24 und L26 das Restmüllaufkommen von der ländlichen zur innerstädtischen und städtischen Struktur an, wobei die Werte der ländlichen und städtischen Gebietsstruktur im Landkreis L24 nahe beieinander liegen (siehe Abb. 12). Dieser Trend entspricht der festgestellten Rangfolge bei früheren BayLfU-Sortieranalysen [1, 2, 3, 5]. Im Landkreis L25 ergibt sich eine andere Reihenfolge. Dies kann in dem unterschiedlichen Bereitstellungsverhalten der Restmüllbehälter durch den Bürger in den Gebietsstrukturen begründet sein.

5.2.2 Zusammensetzung

Wie bei den früheren BayLfU-Untersuchungen [1, 2, 3, 5, 14] bilden die Klassierfraktionen Fein- und Mittelfraktion sowie die beiden Obergruppen Organik und Hygieneprodukte circa zwei Drittel des Gesamtaufkommens an Restmüll, vergleiche Abb. 13 bis Abb. 15.

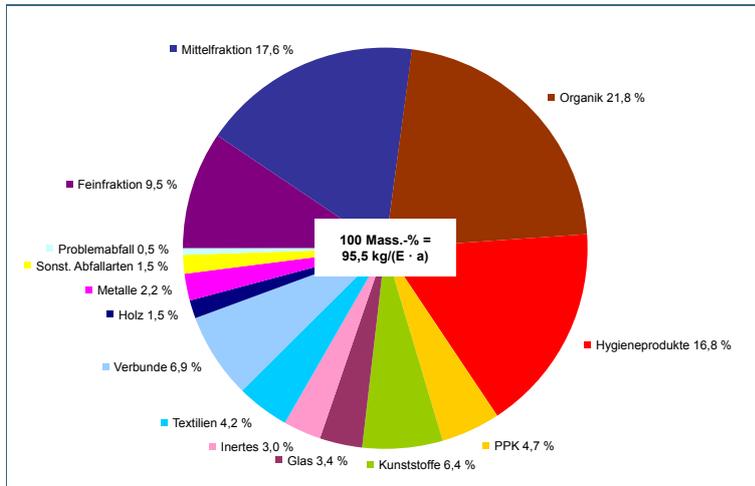


Abb. 13: Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung des Restmülls aus privaten Haushaltungen im Landkreis L24

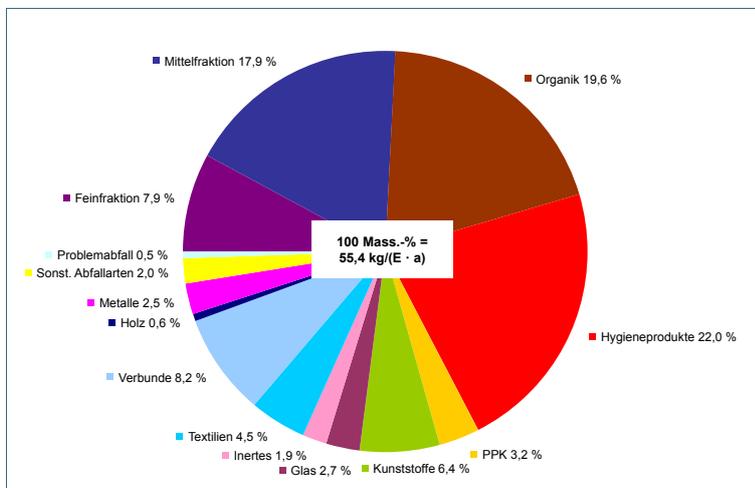


Abb. 14: Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung des Restmülls aus privaten Haushaltungen im Landkreis L25

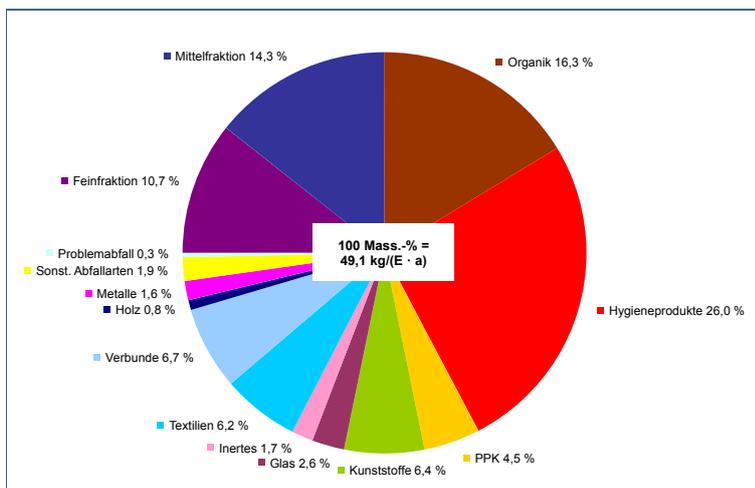


Abb. 15: Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung des Restmülls aus privaten Haushaltungen im Landkreis L26

Die Fein- und Mittelfraktion machen in den drei Gebietskörperschaften rund ein Viertel des Restmüllaufkommens aus. Die größten Unterschiede (Δ : 5,5 und 9,2 %) in der Restmüllzusammensetzung liegen bei den Obergruppen Organik und Hygieneprodukte vor.

5.2.3 Maximales Wertstoffpotenzial

Als maximales Wertstoffpotenzial wird die Obergrenze des grundsätzlich verwertbaren (stofflich, energetisch) Materials im Restmüll bezeichnet. Potenziell verwertbare Stoffe im Restmüll sind vor allem die Obergruppen und Fraktionen Küchen- und Gartenabfälle, PPK, Behälterglas sowie Kunststoff-, Metall- und Verbundverpackungen.

In Abb. 16 ist die Restmüllzusammensetzung – unterteilt in nicht verwertbaren Restabfall (graues Kreissegment) und Wertstofffraktionen (restliche Kreissegmente und Säulen) – dargestellt. Die Zuordnung der Sortier- zu den Wertstofffraktionen erfolgt nach Tab. 6.

Tab. 6: Zuordnung einzelner Restmüllsortierfraktionen zu Wertstofffraktionen.

Wertstofffraktion	Sortierfraktion
Organik	Küchenabfälle, Volle Verpackungen mit Lebensmittel, Gartenabfälle, Hygienepapiere, 80 Mass.-% der Mittelfraktion
PPK	PPK-Verpackungen, PPK-Druckerzeugnisse, Sonstige PPK
LVP	Kunststoffverpackungen, Kunststofffolien (Verpackungen), Styropor, Verbundverpackungen
Metallverpackungen	Fe-Metallverpackungen, NE-Metallverpackungen
Stoffgleiche Nichtverpackungen (stNVP)	Sonstige Folien, Sonstige Kunststoffartikel
Sonstige Metalle	Sonstige Metallteile
Elektronikschrott	Elektronikschrott
Glas	Behälterglas

Die Wertstofffraktion Organik beinhaltet neben den Sortierfraktionen Küchen-, Gartenabfälle, Volle Verpackungen mit Lebensmittel und Hygienepapiere auch den organischen Anteil der Mittelfraktion (10–40 mm). Frühere Untersuchungen [12] haben gezeigt, dass die Mittelfraktion aus bis zu 90 Mass.-% Organik bestehen kann. Bei der vorliegenden Sortieranalyse wurde im Landkreis L26 die Mittelfraktion anhand von zwei Stichprobeneinheiten auf ihre Zusammensetzung untersucht. Hierbei ergab sich ein Organikanteil von 56,6 Mass.-%. Aus Vergleichsgründen mit bisherigen Ergebnissen zum Wertstoffpotenzial liegt der Berechnung des maximalen Wertstoffpotenzials ein Organikanteil der Mittelfraktion von 80 Mass.-% zugrunde.

Der Wertstoffgehalt im Restmüll ist in den untersuchten Gebietskörperschaften mit Ident-System, das eine Leerungs- (Landkreis L25) und Gewichtsgebühr (Landkreise L25, L26) beinhaltet, gegenüber dem Landkreis L24 (Leistungsgebühr pro Leerung bei vorgegebener Mindestleerungszahl) deutlich niedriger. In den Landkreisen L25 und L26 liegt das maximale Wertstoffpotenzial im Restmüll bei 55,4 und 48,8 Mass.-%, wohingegen das maximale Wertstoffpotenzial im Landkreis L24 auf einen Wert von 61,2 Mass.-% kommt (siehe Abb. 16).

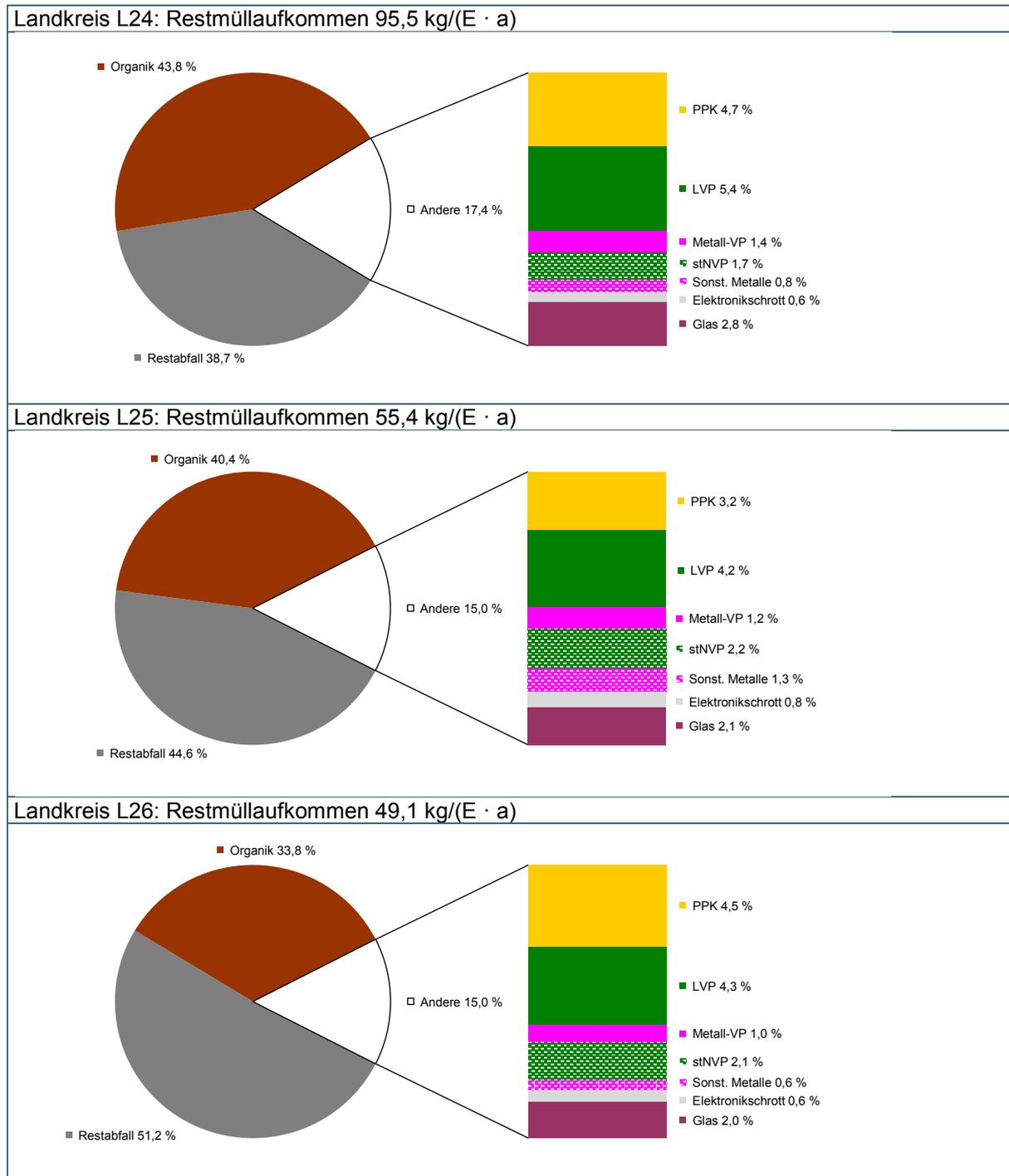


Abb. 16: Prozentuale Restmüllzusammensetzung, unterteilt in Restabfall und Wertstofffraktionen, in den drei Landkreisen L24, L25 und L26

Die Hauptanteile des Wertstoffpotenzials im Restmüll bilden die Fraktionen Organik, LVP und PPK (Reihenfolge im Landkreis L26: Organik, PPK, LVP), siehe Abb. 16 und Tab. 7. Im Landkreis L24 folgt Glas an vierter Stelle, in den Landkreisen L25 und L26 die stoffgleichen Nichtverpackungen (stNVP).

Obwohl in den drei Gebietskörperschaften das Behälterglas mittels Depotcontainern an Wertstoffinseln gesammelt wird, liegt im Landkreis L24 das im Restmüll verbleibende Behälterglas mit 2,7 kg/(E · a) signifikant über dem Wertebereich der beiden anderen Landkreise {1,0–1,1 kg/(E · a)}.

Tab. 7: Ermittelte Wertebereiche im Restmüll für die Wertstofffraktionen Organik, LVP, PPK, stNVP und Glas in den Landkreisen L24, L25 und L26

Wertstofffraktion	Anteil am Restmüll [Mass.-%]	Aufkommen [kg/(E · a)]
Organik	33,8–43,8	16,6–41,9
LVP	4,2–5,4	2,1–5,1
PPK	3,2–4,7	1,8–4,5
stNVP	1,7–2,2	1,0–1,7
Glas	2,0–2,8	1,0–2,7

Die Erfassung der Metallverpackungen erfolgt in den drei untersuchten Gebietskörperschaften unterschiedlich, was sich im Aufkommen widerspiegelt. Fe-Metallverpackungen werden im Landkreis L24 über Depotcontainer, die NE-Metallverpackungen über den Gelben Sack erfasst. Im Landkreis L25 werden die Fe- und NE-Metallverpackungen ausschließlich über Depotcontainer erfasst und im Landkreis L26 über den Gelben Sack. Bei dieser Zuordnung (entweder über Depotcontainer oder den Gelben Sack) liegt das Aufkommen an Fe- und NE-Metallverpackungen im Restmüll mit 0,7 und 0,5 kg/(E · a) in den Landkreisen L25 und L26 niedriger als im Landkreis L24 (1,3 kg/(E · a)).

5.2.4 Originalverpackte Lebensmittel

Durch die vom Bundeslandwirtschaftsministerium in Auftrag gegebene Studie „Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland“ [40] rückte das Thema Wegwerfen von zum Verzehr geeigneten Lebensmitteln in das allgemeine Bewusstsein. Daher wurde in der vorliegenden Studie auch auf originalverpackte Lebensmittel geachtet.

In Abb. 17 sind originalverpackte Lebensmittelabfälle aus einer Stichprobeneinheit Restmüll zu sehen. Die Mengen und Massen der originalverpackten Lebensmittel in den einzelnen Stichproben waren recht verschieden. Beispielsweise lagen die Mengen (Masse inklusive Verpackung) im Landkreis L26 zwischen 0,5 und 10,3 kg pro SPE. Sämtliche nicht originalverpackte Lebensmittel, wie z. B. angebrochene Lebensmittel, Backwaren sowie Obst und Gemüse, wurden den Küchenabfällen zugeordnet. Eine zusätzliche Unterteilung in Produktgruppen wurde im Rahmen der Abfallsortieranalyse nicht getroffen. Das Aufkommen an originalverpackten Lebensmitteln im Restmüll liegt in den untersuchten Gebietskörperschaften zwischen 1,5 und 3,3 kg/(E · a) und im Bioabfall bei maximal 0,3 kg/(E · a).



Abb. 17:
Beispiel für Lebensmittelabfälle in einer Stichprobeneinheit (1.100 l) Restmüll

Ergebnisvergleich mit anderen Studien

Die oben zitierte theoretische Studie von Kranert [40] basiert auf der Auswertung verschiedener Arbeiten zur Thematik Lebensmittelabfälle aus Haushalten anhand von Statistiken, Recherchen, Umfragen sowie stichprobenhaften Einzeluntersuchungen in Deutschland. Sie ergab, dass in Deutschland an Lebensmittelabfällen aus Haushalten 42,7 kg/(E · a) über den Restmüll und 19,1 kg/(E · a) über den Bioabfall entsorgt werden. Dazu wurden die Lebensmittelabfälle in die Gruppen *vermeidbar*, *teilweise vermeidbar* und *nicht vermeidbar* unterteilt. *Vermeidbare Lebensmittel* sind bis zum Zeitpunkt ihrer Entsorgung noch uneingeschränkt genießbar oder wären bei rechtzeitiger Verwendung genießbar gewesen. Über kommunale Sammelsysteme (Rest- und Bioabfall) werden 29 kg/(E · a) an *vermeidbaren Lebensmitteln* entsorgt. Ein direkter Vergleich der oben genannten Ergebnisse mit den in Tab. 8 dargestellten Ergebnissen ist kaum möglich, da die Untersuchungsdesigns (Schwerpunkt, Herangehensweise) stark differieren.

Eine experimentelle Arbeit zum gleichen Thema wurde vom Fraunhofer-Institut in der Stadt und im Landkreis Gießen unter Berücksichtigung der Siedlungsstruktur durchgeführt [41]. Dabei zeigte sich, dass Haushalte in Einfamilienhäusern (EFH) mit 13 kg/(E · a) weniger Lebensmittelabfälle über den Restmüll entsorgen als Haushalte in Mehrfamilienhäusern (MFH) {25 kg/(E · a)} oder Wohnblöcken {35 kg/(E · a)}. Des Weiteren wurden die Lebensmittelabfälle nach dem Zustand (*ganze Lebensmittel*, *angebrochene Lebensmittel*, *Zubereitungsreste* sowie *Speisen- und Tellerreste*) eingeteilt. Das Aufkommen an *ganzen Lebensmitteln* beträgt in den Haushalten in Einfamilienhäusern 3,4 kg/(E · a), in den Haushalten in Mehrfamilienhäusern 6,8 kg/(E · a) und in den Wohnblöcken 10,1 kg/(E · a). Das Aufkommen an *ganzen Lebensmitteln* ist in den untersuchten Gebietskörperschaften vergleichbar mit dem der originalverpackten Lebensmittel (siehe Tab. 8).

Tab. 8: Aufkommen an ganzen Lebensmittelabfällen in Stadt und Landkreis Gießen [41] verglichen mit dem Aufkommen an originalverpackten Lebensmitteln in den untersuchten Gebietskörperschaften L24, L25 und L26

Einteilung nach [41]	Stadt und Lkr. Gießen [kg/(E · a)]	Originalverpackte Lebensmittel			
		Einteilung nach BayLfU (siehe Tab. 1)	L24	Landkreis L25 L26 [kg/(E · a)]	
Haushalte in Einfamilienhäusern	3,4	ländlich	3,4	2,3	1,4
Haushalte in Mehrfamilienhäusern	6,8	städtisch	2,4	1,7	1,5
Haushalte in Wohnblöcken	10,1	innerstädtisch	4,9	1,5	–

Unter der Annahme – Haushalte in Ein-, Mehrfamilienhäusern und Wohnblöcken sind charakteristisch für die Gebietsstrukturen ländlich, städtisch und innerstädtisch – zeigt die Gegenüberstellung der Daten, dass sich die BayLfU-Daten in der Regel unter den Werten in Stadt und Landkreis Gießen bewegen. Insgesamt lassen die Daten der untersuchten Gebietskörperschaften die Werte von [40] und [41] als relativ hoch erscheinen.

5.3 Bioabfälle

5.3.1 Aufkommen

Die Bioabfälle, die in den drei Landkreisen mit der Biotonne erfasst werden, ergeben für die angeschlossenen Haushalte ein Aufkommen von 35,9 kg/(E · a) im Landkreis L25 bis 129,2 kg/(E · a) im Landkreis L24, vergleiche Abb. 18. Da bei Eigenkompostierung auf die Nutzung der Biotonne verzichtet werden kann, liegt die Anschlussquote an die Biotonne im Landkreis L24 bei circa 80 %, in den Landkreisen L25 und L26 bei jeweils circa 55 % der Haushalte.

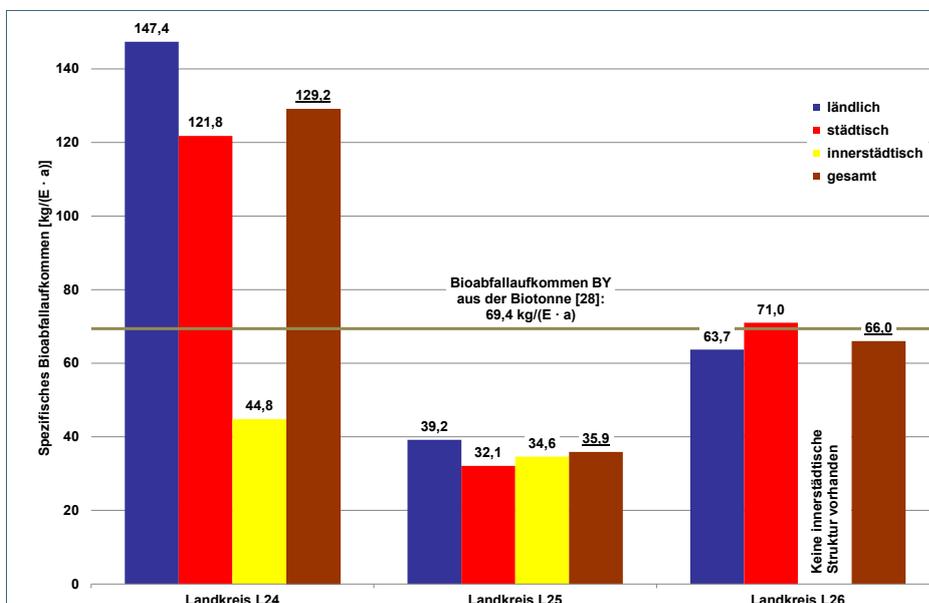


Abb. 18: Durchschnittliches spezifisches Bioabfallaufkommen aus Haushalten in den drei Landkreisen L24, L25 und L26, differenziert nach Gebietsstrukturen und gesamt, im Vergleich zum Bioabfallaufkommen aus der Biotonne in Bayern

Laut Abfallbilanz 2013 beträgt das Bioabfallaufkommen aller bayerischen Haushaltungen, die an ein Erfassungssystem für Bioabfall angeschlossen sind, durchschnittlich 69,4 kg/(E · a) [28, S. 41]. Demgegenüber liegt das Aufkommen im Landkreis L24 um 59,8 kg/(E · a) deutlich darüber, das Aufkommen in den Landkreisen L25 und L26 um 33,5 und 3,4 kg/(E · a) darunter. Das im Vergleich zum Landkreis L24 geringe Aufkommen in den beiden Landkreisen L25 und L26 ist mitunter auf die Gewichtsgebühr für Bioabfall zurückzuführen, auch wenn in den Landkreisen L25 und L26 sperriges Grüngut zweimal im Jahr bei einer Sonderaktion über ein Hol- oder Bringsystem kostenlos entsorgt werden kann.

Unterteilt nach Gebietsstrukturen ergibt sich in den drei Landkreisen folgendes Bioabfallaufkommen (vergleiche Abb. 18): Das höchste Aufkommen liegt bei 147,4 kg/(E · a) (Landkreis L24, ländlich), der Minimalwert bei 32,1 kg/(E · a) (L25, städtisch). Während sich das Bioabfallaufkommen innerhalb der Gebietsstrukturen in den Landkreisen L25 und L26 kaum voneinander unterscheidet, ist der Wertebereich im Landkreis L24 extrem {44,8 bis 147,4 kg/(E · a)}. Die Ursache dafür ist unbekannt.

5.3.2 Zusammensetzung

Die Zusammensetzung der in der Biotonne erfassten Bio- und Grünabfälle in den untersuchten Gebietskörperschaften zeigen die Abb. 19 bis Abb. 21. Die Fein- (< 10 mm) und Mittelfraktion (10–40 mm) machen in den Landkreisen L24 (60,6 Mass.-%) und L26 (59,4 Mass.-%) über die Hälfte des Bioabfalls aus, im Landkreis L25 (47,0 Mass.-%) dagegen knapp die Hälfte. Ein weiteres Drittel des Bioabfalls ist geprägt durch die Obergruppe Organik. Hier liegen die Anteile zwischen 30,4 und 40,3 Mass.-%.

Einen weiteren kompostier- oder vergärbaren Bestandteil liefert mit 2,1 (Landkreis L24), 9,9 (L25) und 7,5 Mass.-% (L26) Papier, das zum einen als Küchenpapier in der Sortiergruppe Hygienepapiere und ansonsten in der Sortierobergruppe PPK vorkommt. Dies bedeutet, dass insgesamt 98,1 (Landkreis L24), 97,2 (L25) und 97,3 Mass.-% (L26) des Biotonneninhalts verwertbar und somit systemkonform sind. Die restlichen 1,9 bis 2,8 Mass.-% machen Störstoffe im Bioabfall aus, wovon den größten Anteil in der Regel die Kunststoffe (0,3 Mass.-% im Landkreis L24 und jeweils 1,7 Mass.-% in den Landkreisen L25 und L26) bilden. Dies wird z. B. durch das Entsorgen der Bioabfälle in Müllbeuteln verursacht. Auch wenn aufgrund des geringen Gewichts die Masse der Kunststoffbeutel vergleichsweise gering ist, prägen sie optisch das Bild des Bioabfalls.

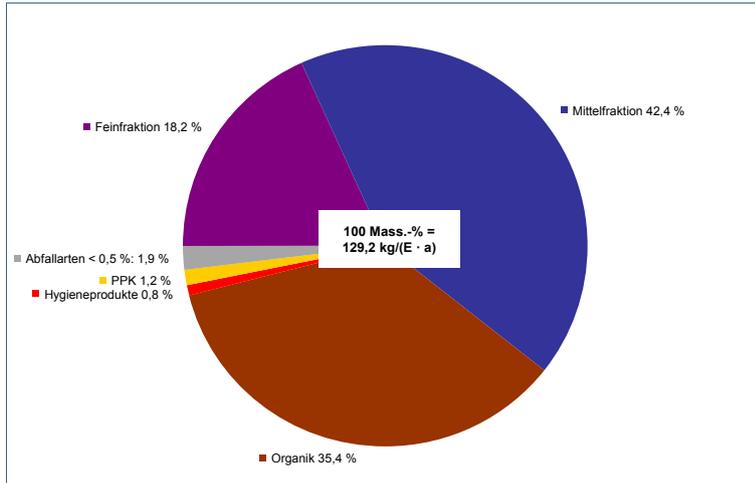


Abb. 19:
Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung des Bioabfalls aus privaten Haushaltungen im Landkreis L24

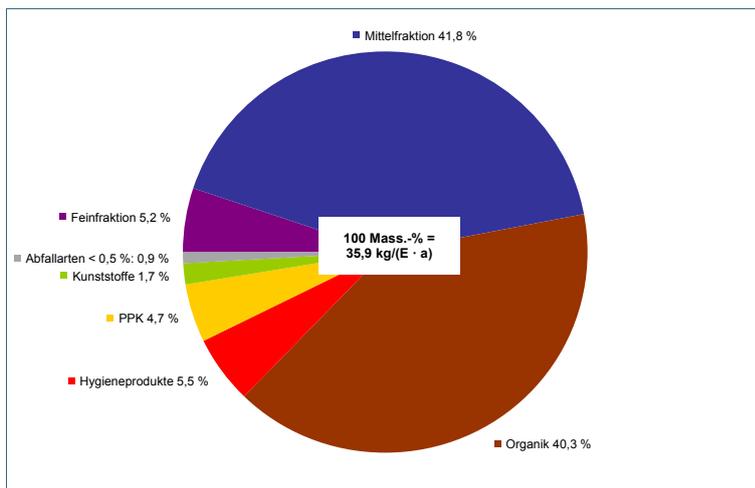


Abb. 20:
Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung des Bioabfalls aus privaten Haushaltungen im Landkreis L25

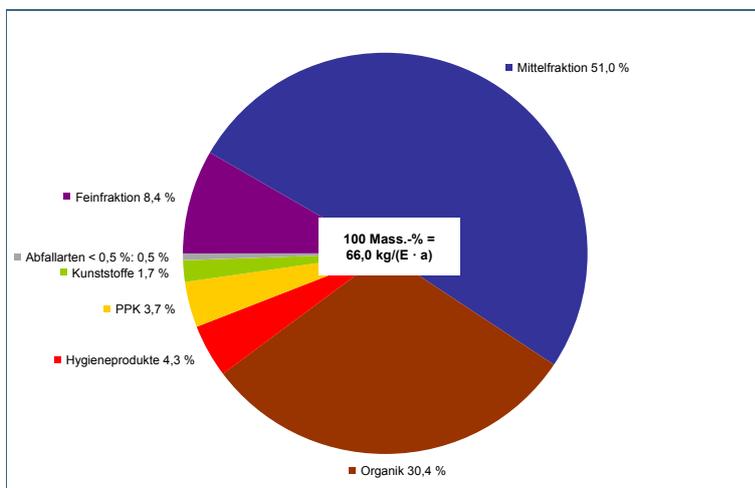


Abb. 21:
Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung des Bioabfalls aus privaten Haushaltungen im Landkreis L26

Die Abb. 22 bis Abb. 24 zeigen die Bioabfallzusammensetzung – unterteilt in systemkonforme Inhalts- (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (weißes Kreissegment und Säule) – in den einzelnen Landkreisen und Gebietsstrukturen. Während im Landkreis L24 die Anteile an Gartenabfällen höher als die an Küchenabfällen sind, überwiegen in den Landkreisen L25 und L26 die Anteile an Küchenabfällen bei weitem. Die geringsten Anteile an Gartenabfällen in der Biotonne sind im Landkreis L25 (1,3–

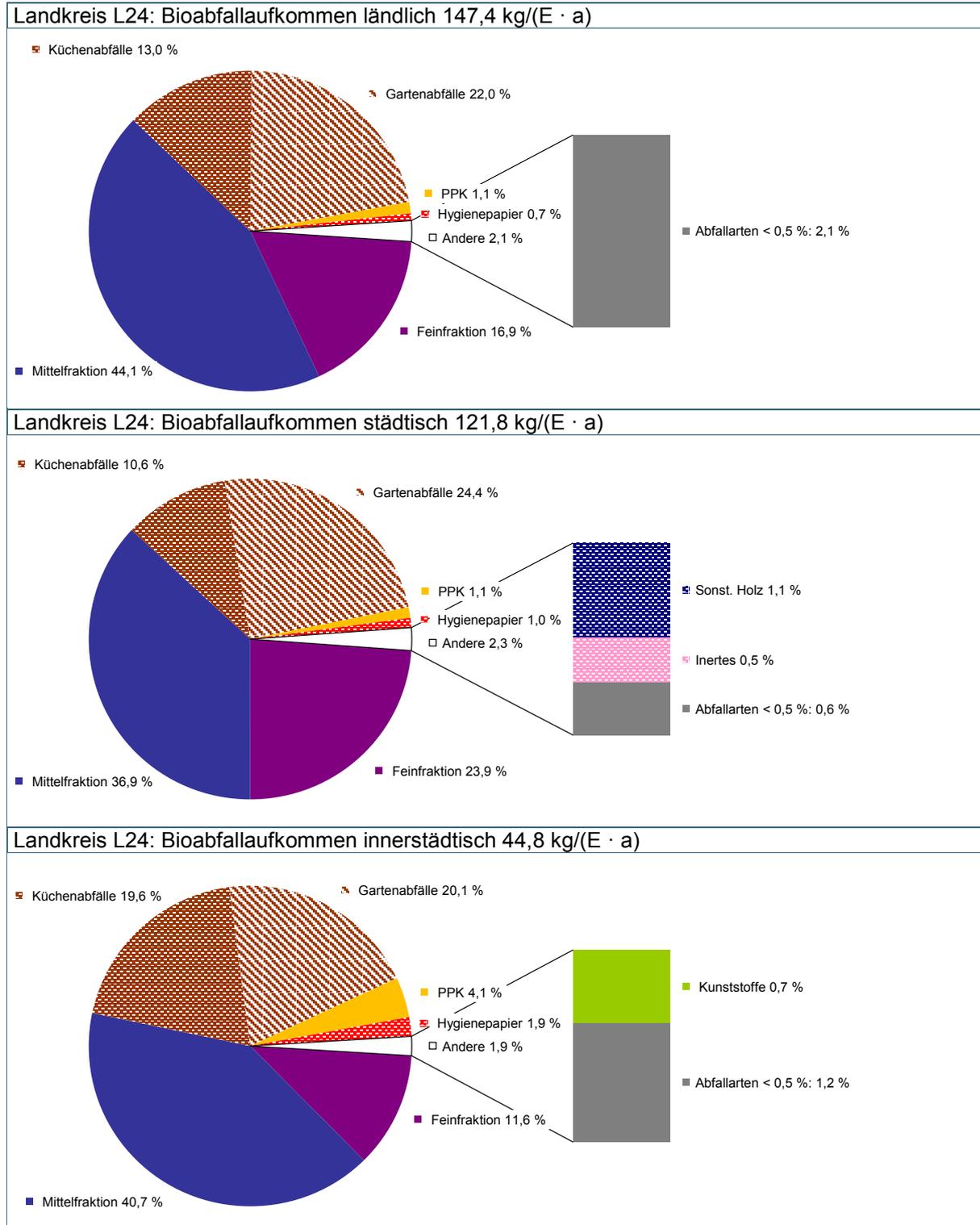


Abb. 22: Prozentuale Bioabfallzusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, im Landkreis L24

3,0 Mass.-%) enthalten. Im Landkreis L26 betragen die Anteile an Gartenabfällen zwischen 8,2 und 10,9 Mass.-%, während die Anteile an Küchenabfällen zwischen 19,7 und 23,8 Mass.-% liegen.

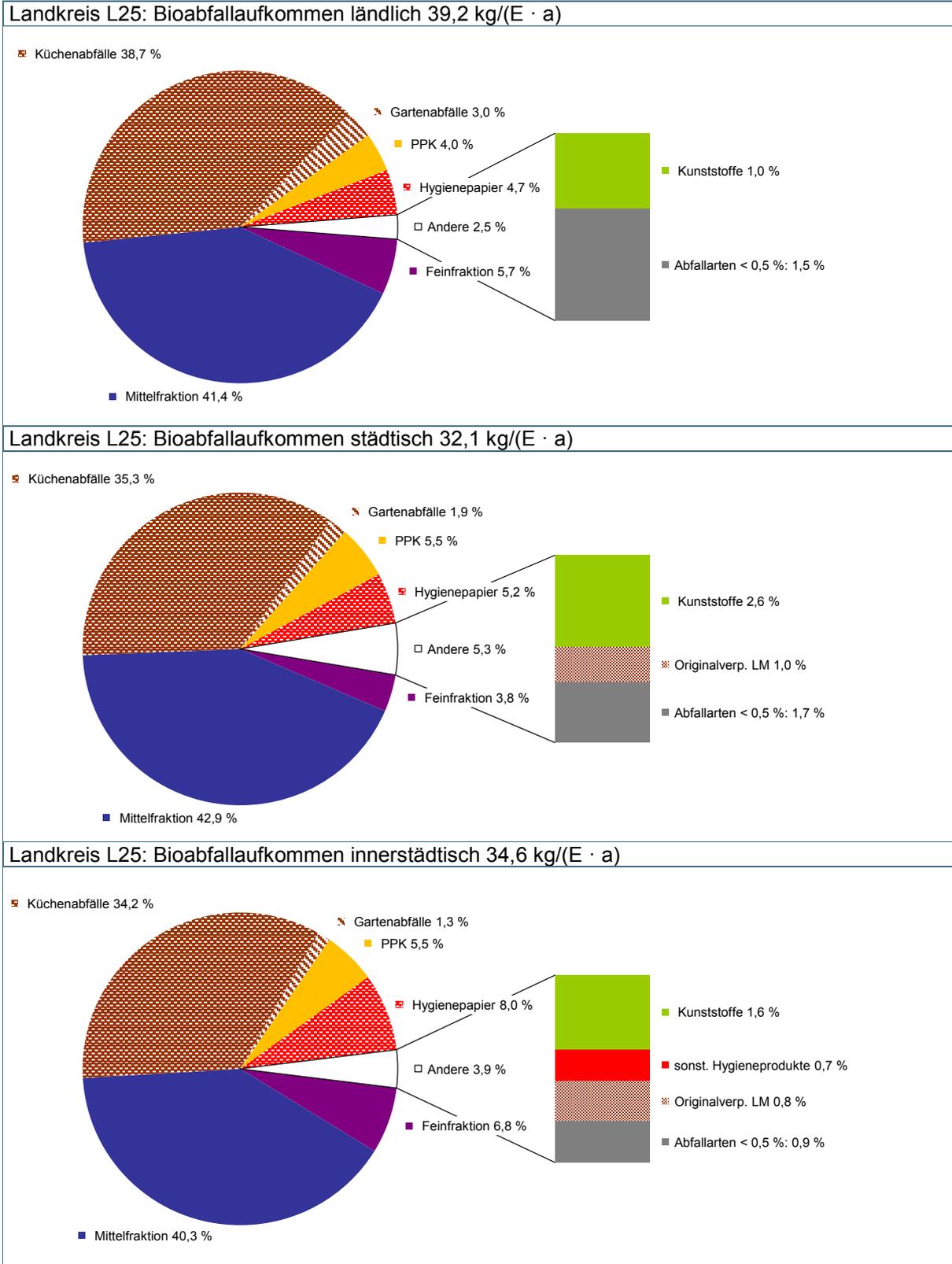


Abb. 23: Prozentuale Bioabfallzusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, im Landkreis L25

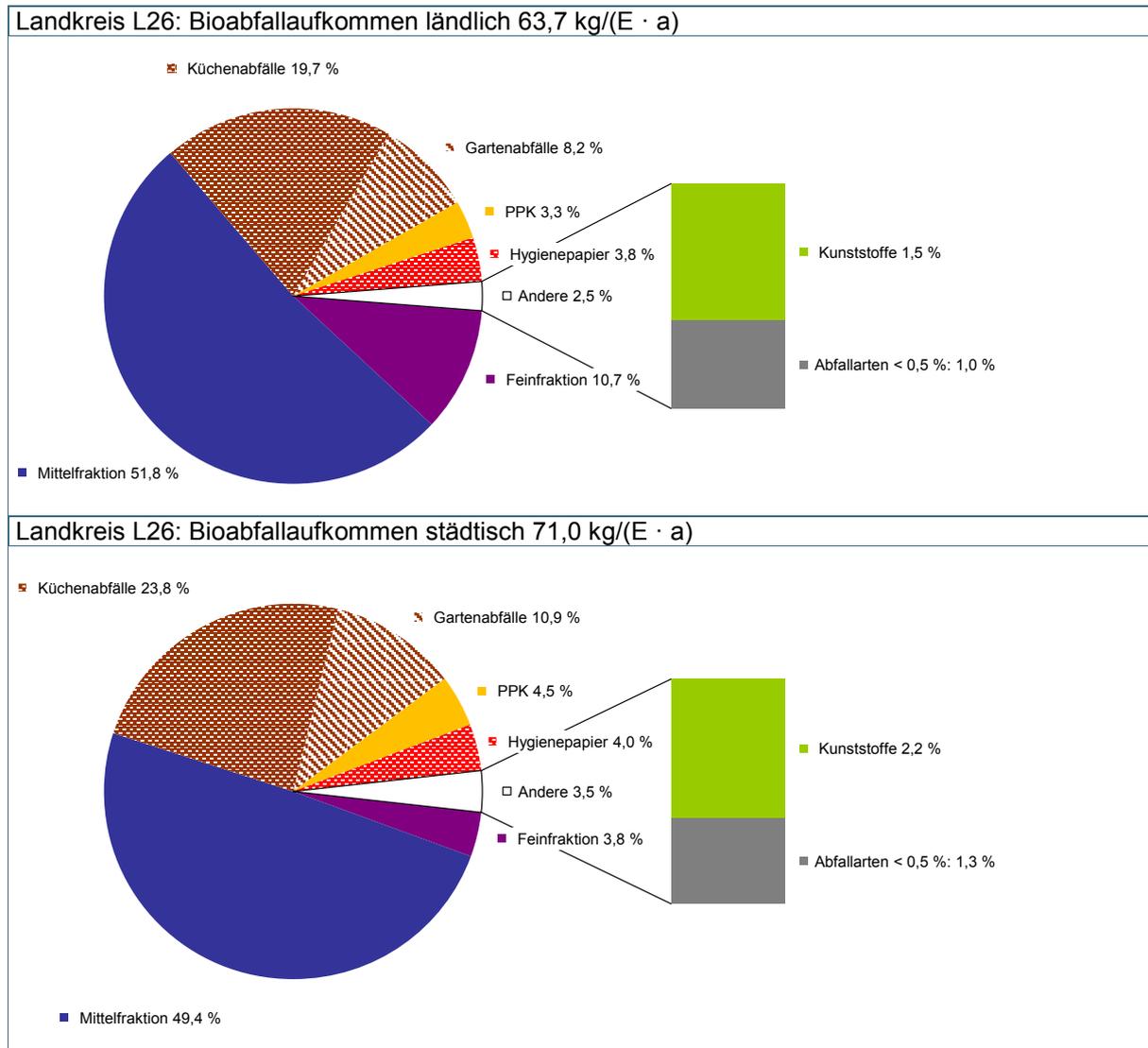


Abb. 24: Prozentuale Bioabfallzusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, im Landkreis L26

Der Störstoffanteil in der Biotonne liegt in den einzelnen Gebietsstrukturen zwischen 1,9 und 5,3 Mass.-% (Landkreis L24 innerstädtisch und L25 städtisch). Dabei ist der Störstoffanteil in den Landkreisen L25 und L26 (gewichtsabhängiges Gebührensystem bei Bioabfall) höher als im Landkreis L24. Im Landkreis L24 nimmt der Störstoffanteil mit zunehmender Siedlungsdichte ab, während der Störstoffanteil mit zunehmender Siedlungsdichte im Landkreis L26 steigt. Ein eindeutiger Trend hinsichtlich des Störstoffanteils ist im Landkreis L25 nicht zu erkennen. Als Störstoffe sind vor allem Kunststoffe zu nennen, die mit Anteilen bis zu 2,6 Mass.-% (im Landkreis L25 städtische Gebietsstruktur) enthalten sind. Danach folgen Sonstiges Holz (1,1 Mass.-% im Landkreis L24 städtisch), originalverpackte Lebensmittel (maximal 1,0 Mass.-% im Landkreis L25 städtisch), Sonstige Hygieneprodukte (0,7 Mass.-% im Landkreis L25 innerstädtisch) und Inertes (0,5 Mass.-% im Landkreis L24 städtisch). Die restlichen Störstoffe sind mit Anteilen kleiner 0,5 Mass.-% – kumulierter Wert: maximal 1,7 % – in der Biotonne enthalten.

Müllbeutel zur Sammlung der Bioabfälle

Bei den Bioabfällen wurden auch Anzahl und Art der Müllbeutel ermittelt. Dies dient dem Überblick, welche Art von Müllbeuteln der Bürger zur Erfassung der Bioabfälle in den Haushalten am häufigsten verwendet.

Zur Sammlung der Bioabfälle in der Wohnung benutzt der Bürger in der Regel die systemkonformen Müllbeutel aus Papier, Müllbeutel aus Kunststoff sowie kompostierbare Bioabfallbeutel.

Die Betreiber von Kompost- oder Vergärungsanlagen, die den Bioabfall der drei untersuchten Gebietskörperschaften behandeln, zählen „kompostierbare Bioabfallbeutel“ – wie Kunststofftüten auch – zu den Störstoffen. Bei der Kompostierung führen kompostierbare Bioabfallbeutel zu Problemen: Zum einen zersetzen sich die Beutel nicht so schnell, wie es für den biologischen Prozess nötig wäre, und zum anderen kann das Personal bei der manuellen Sortierung des Bioabfalls kompostierbare von nicht kompostierbaren Beuteln nicht unterscheiden. Sie werden daher wie die üblichen Kunststofftüten aussortiert. Bei der Vergärung (Landkreise L24 und L25) stören die kompostierbaren Bioabfallbeutel ebenfalls den Prozess. Die meist verschlossenen Beutel werden nicht abgebaut und der Beutelinhalt (Bioabfall) nimmt an dem eigentlichen Vergärungsprozess nicht teil. Dies senkt die Gaserträge der Vergärungsanlage.

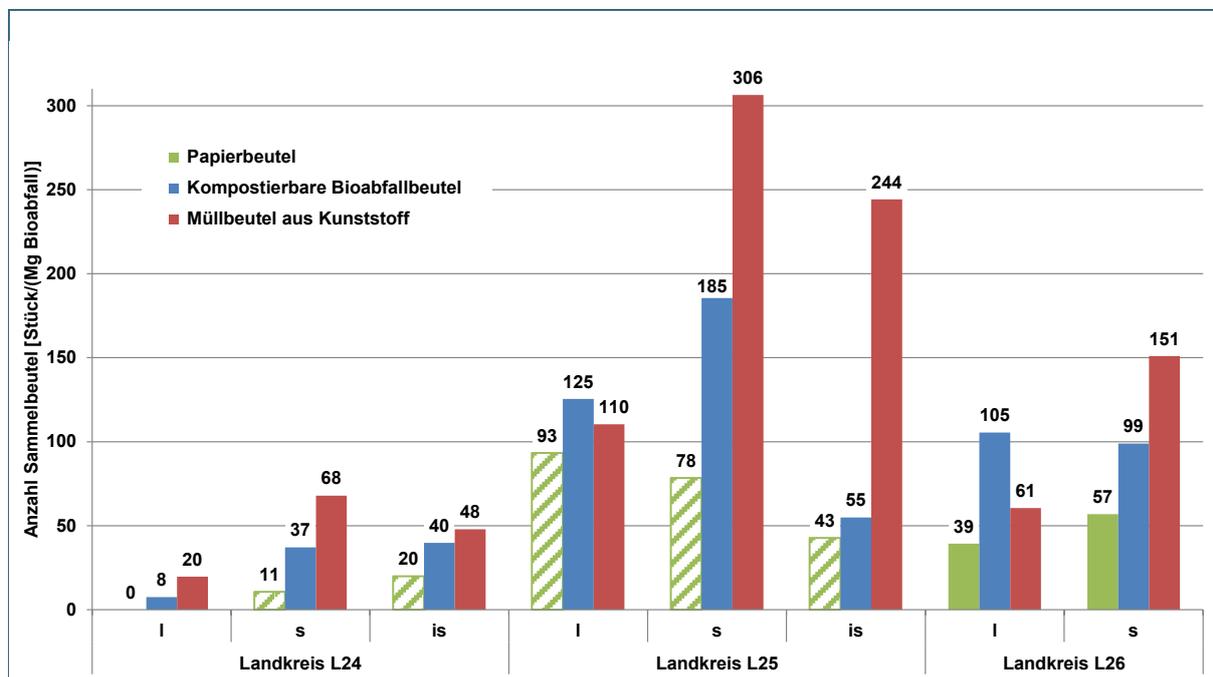


Abb. 25: Spezifische Anzahl an Papierbeuteln, kompostierbaren Bioabfallbeuteln und Müllbeuteln aus Kunststoff; schraffierte Säulen: nur Winterkampagne

In Abb. 25 sind die in den Bioabfällen enthaltene Menge an Sammelbeuteln dargestellt – Mittelwert aus Sommer- und Winterkampagne – und die Werte auf 1 Mg Bioabfall bezogen. In den Landkreisen L24 und L25 wurden die Papierbeutel bei der Sommersortierung nicht ermittelt.

Die systemkonformen Papierbeutel werden vom Bürger am wenigsten zur Sammlung der feuchten Bioabfälle genutzt. Meistens werden die nicht systemkonformen Müllbeutel aus Kunststoff genommen. Dem Bürger, der sich keine Gedanken über den weiteren Aufbereitungsprozess macht, erscheinen sie für die Sammlung auch aus hygienischen Gründen am geeignetsten. Die Verwendung kompostierba-

rer Bioabfallbeutel ist demgegenüber teurer. Sie werden in der Regel deutlich öfter genutzt als Papierbeutel.

Aufgrund der eingangs erwähnten Problematik bei der Kompostierung und Vergärung von kompostierbaren Bioabfallbeuteln ist auf Folgendes hinzuweisen: Die Kennzeichnung der Erzeugnisse aus Biokunststoffen mit einem Kompostierbarkeitslogo bedeutet, dass eine biologische Abbaubarkeit unter den in DIN EN 13432 [42, 43] oder DIN EN 14995 [44] genannten Bedingungen nachgewiesen ist. Diese „Laborbedingungen“ sind oftmals auf die realen Bedingungen der Kompostierung oder Vergärung nur bedingt übertragbar [45]. Diese Tatsache sollte durch eine gezielte Öffentlichkeitsarbeit dem Bürger kommuniziert werden.

5.4 Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)

5.4.1 Aufkommen

In den drei untersuchten Gebietskörperschaften werden Papier, Pappe und Kartonagen im Holsystem über die Papiertonne erfasst. Das ermittelte PPK-Aufkommen liegt zwischen 46,0 und 76,9 kg/(E · a) (siehe Abb. 26). Damit liegt das durchschnittliche PPK-Aufkommen jeweils in der Größenordnung des Restmüllaufkommens (vergleiche Abschnitt 5.2.1).

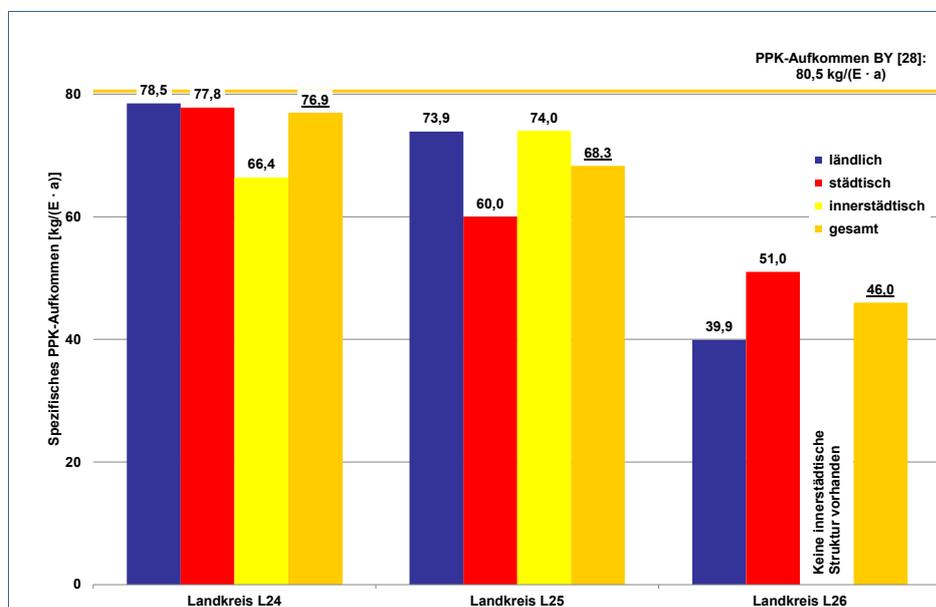


Abb. 26: Durchschnittliches spezifisches PPK-Aufkommen aus Haushalten in den drei Landkreisen L24, L25 und L26, differenziert nach Gebietsstrukturen und gesamt, im Vergleich zum PPK-Aufkommen in Bayern

Laut Bayerischer Abfallbilanz 2013 [28, S. 26] beträgt die einwohnerspezifische Altpapiermenge aus Haushalten in Bayern 80,5 kg/(E · a). Im Vergleich dazu ist das durchschnittliche Aufkommen in den Landkreisen L24 (Δ : -4 %) und L25 (Δ : -15 %) etwas, im Landkreis L26 (Δ : -43 %) deutlich geringer.

Im Landkreis L24 nimmt das PPK-Aufkommen mit zunehmender Siedlungsdichte leicht ab, während es im Landkreis L26 um 11,1 kg/(E · a) zunimmt (vergleiche Abb. 26). Kein Trend ist im Landkreis L25 zu erkennen: Das PPK-Aufkommen ist im städtischen Bereich am niedrigsten und liegt im ländlichen und innerstädtischen Bereich auf gleichem Niveau.

5.4.2 Zusammensetzung

Die mit der Papiertonne erfassten Abfälle bestehen größtenteils aus Papier, Pappe und Kartonagen, siehe Abb. 27 bis Abb. 29. Im Landkreis L24 macht der PPK-Anteil 94,4 % aus und erreicht im Landkreis L26 einen Wert von 96,9 %. Von den nicht systemkonformen Anteilen am Inhalt der Papiertonne

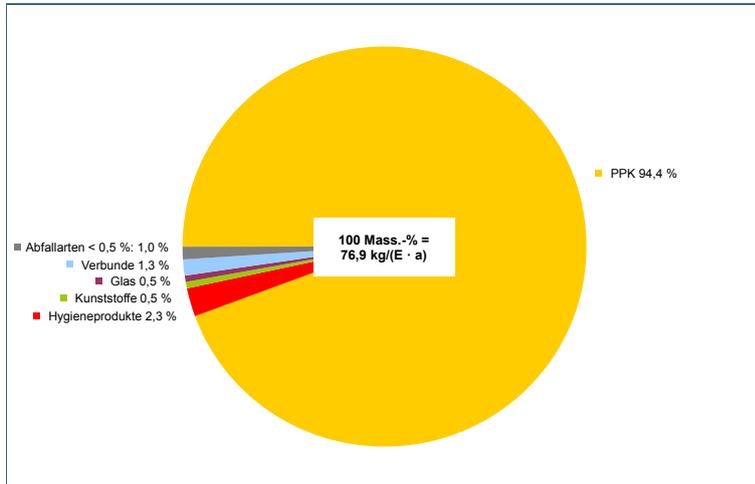


Abb. 27: Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung der PPK in der Papiertonne aus privaten Haushaltungen im Landkreis L24

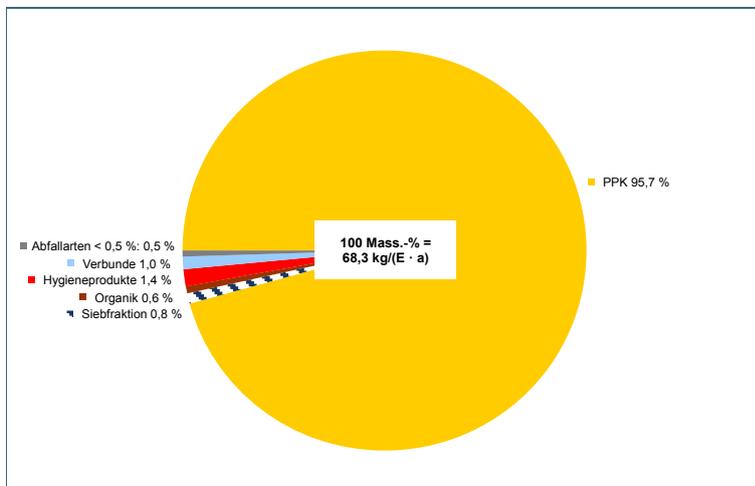


Abb. 28: Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung der PPK in der Papiertonne aus privaten Haushaltungen im Landkreis L25

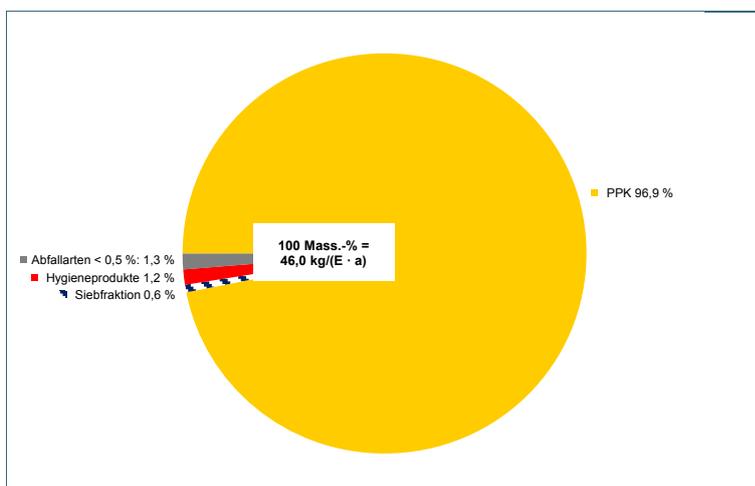


Abb. 29: Gesamtaufkommen und durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung der PPK in der Papiertonne aus privaten Haushaltungen im Landkreis L26

tritt in den drei Landkreisen vor allem die Obergruppe Hygieneprodukte auf. Während in den drei Landkreisen daneben noch in gleicher Größenordnung die Abfallarten < 0,5 % hinzukommen, sind in einzelnen Landkreisen auch Glas (L24), Kunststoffe (L24), Organik (L25), Siebfraction (L25, L26), Verbunde (L24, L25) im einstelligen Prozentbereich und darunter anzutreffen.

In Abb. 30 bis Abb. 32 ist die Zusammensetzung des Papiertonneninhalts in den drei Landkreisen – unterteilt in die drei Gebietsstrukturen ländlich, städtisch und innerstädtisch – dargestellt.

Im Landkreis L24 – vergleiche Abb. 30, S. 47 – unterscheiden sich die Massenanteile in den einzelnen Gebietsstrukturen für Druckerzeugnisse und PPK-Verpackungen um etliche Prozentpunkte (Δ_{\max} : 9,4 Mass.-%), während die Sonstigen PPK bei rund 1 Mass.-% liegen. Der Störstoffanteil beträgt maximal 6,7 Mass.-%, wobei in der ländlichen Gebietsstruktur Hygieneprodukte, in der städtischen Struktur Glas und in der innerstädtischen Struktur Verbunde den Hauptteil der Störstoffe ausmachen.

Im Landkreis L25 – vergleiche Abb. 31 S. 48 – bewegen sich die Anteile an Druckerzeugnissen und PPK-Verpackungen auf relativ konstantem Niveau (circa 75 und 18 Mass.-%). Der Störstoffanteil liegt bei 3,9 (ländlich, innerstädtisch) und 5,0 Mass.-% (städtisch). Bei den Störstoffen gehören die Hygieneprodukte mit den Verbunden zu den Hauptmassebildnern.

Im Landkreis L26 – vergleiche Abb. 32, S. 49 – ist gegenüber den anderen beiden Landkreisen der Anteil an PPK-Verpackungen in der Gebietsstruktur ländlich bei über 28 Mass.-% und auch die Sonstigen PPK mit Werten bis zu 7 Mass.-% deutlich erhöht. Der Störstoffanteil ist mit maximal 3,8 Mass.-% nicht ganz so hoch, aber auch hier bilden die Hygieneprodukte und Verbunde die Hauptmasse.

Vergleicht man das Aufkommen der PPK-Druckerzeugnisse und der PPK-Verpackungen in der Restmüll- und Papiertonne (nicht dargestellt), fällt auf, dass die PPK-Druckerzeugnisse größtenteils (> 97 %; Ausnahme Landkreis L24 innerstädtisch: 92 %) über die Papiertonne separat erfasst und nennenswerte Anteile der PPK-Verpackungen (bis zu 24 %) über die Restmülltonne entsorgt werden. In den Landkreisen L24 und L26 ist der Trend festzustellen, dass mit zunehmender Siedlungsdichte die PPK in einem geringeren Anteil in die Papiertonne wandern, während im Landkreis L25 die Aufteilung der PPK auf Restmüll- oder Papiertonne in den Gebietsstrukturen nahezu konstant bleibt.

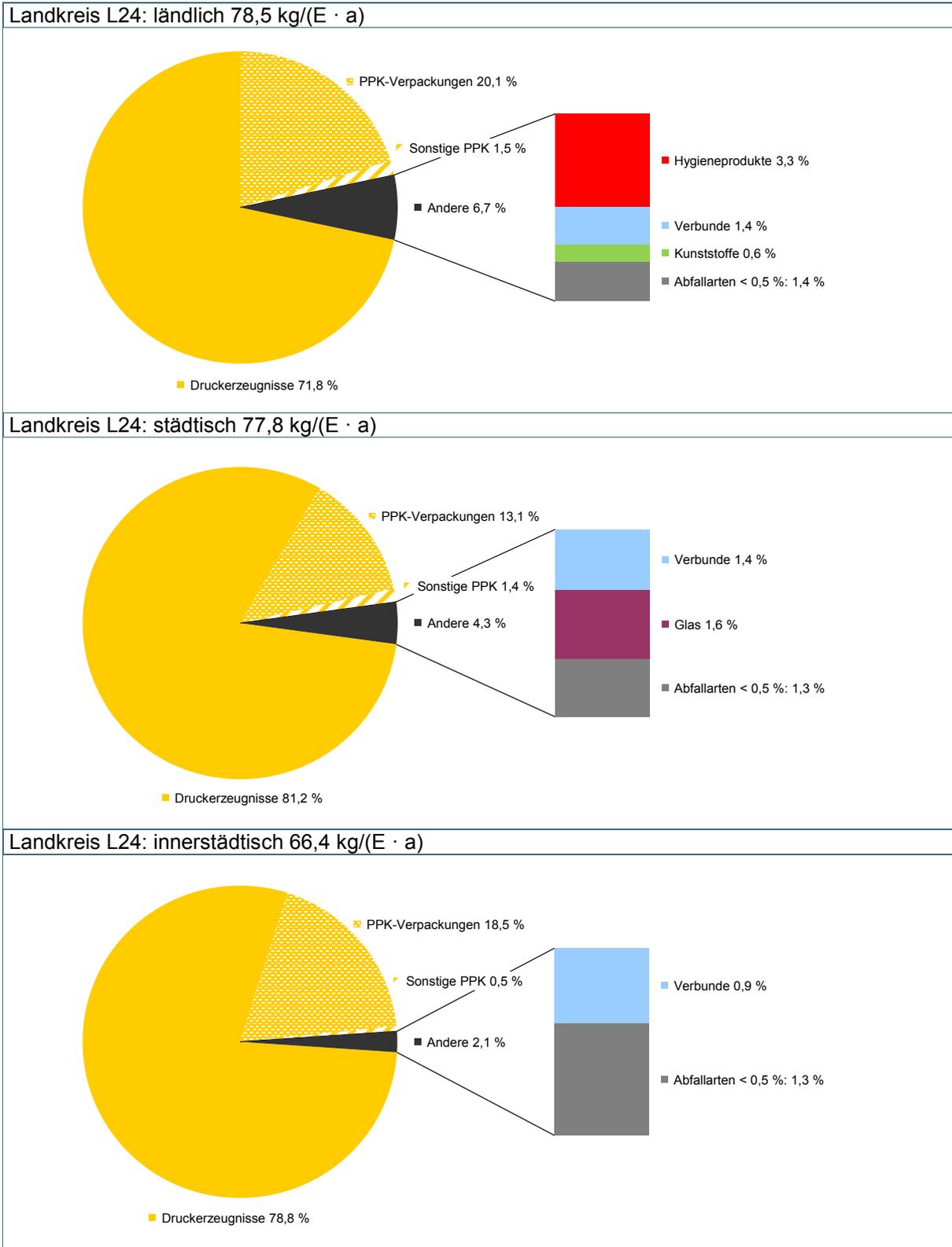


Abb. 30: Prozentuale PPK-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, im Landkreis L24

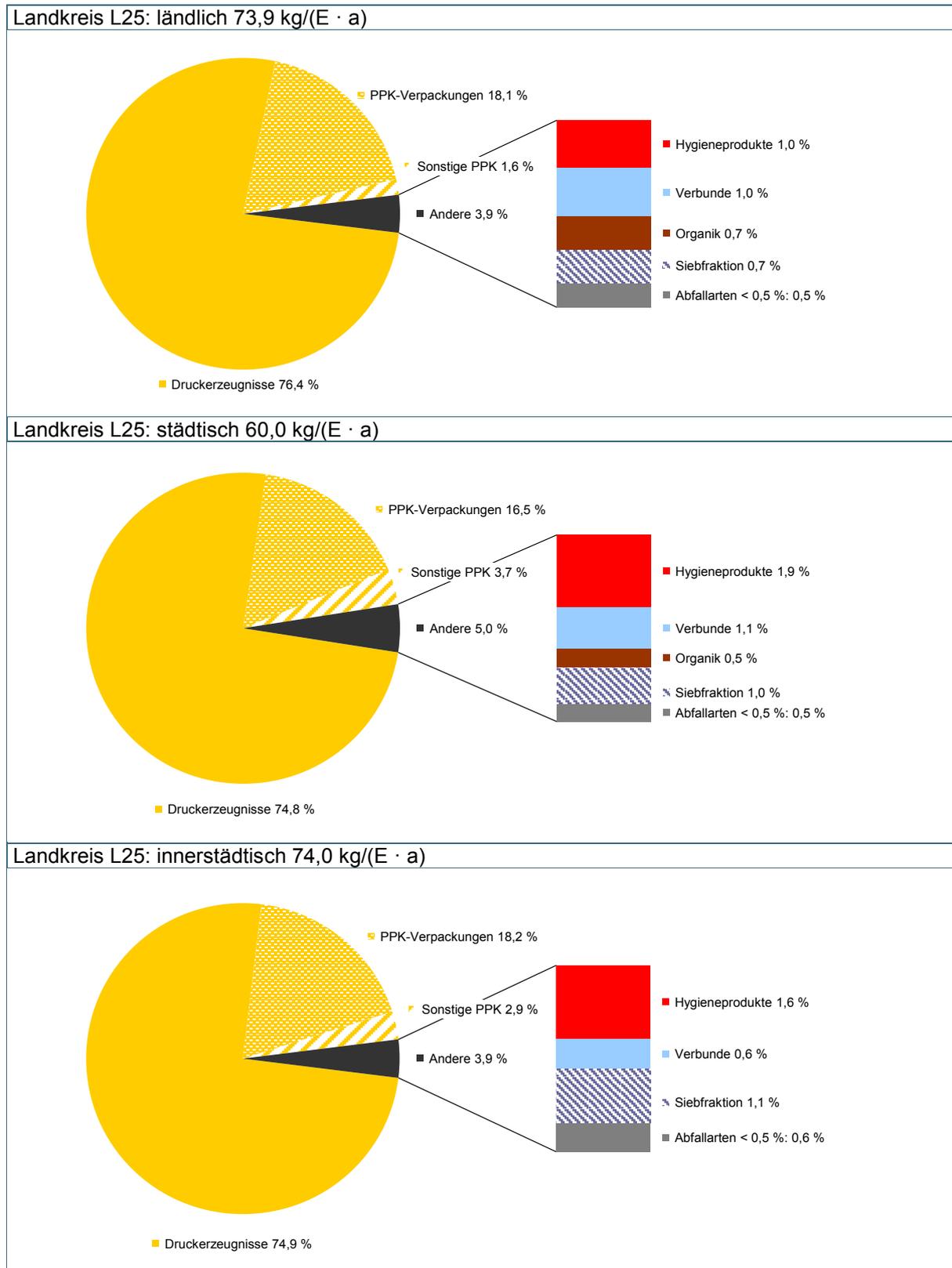
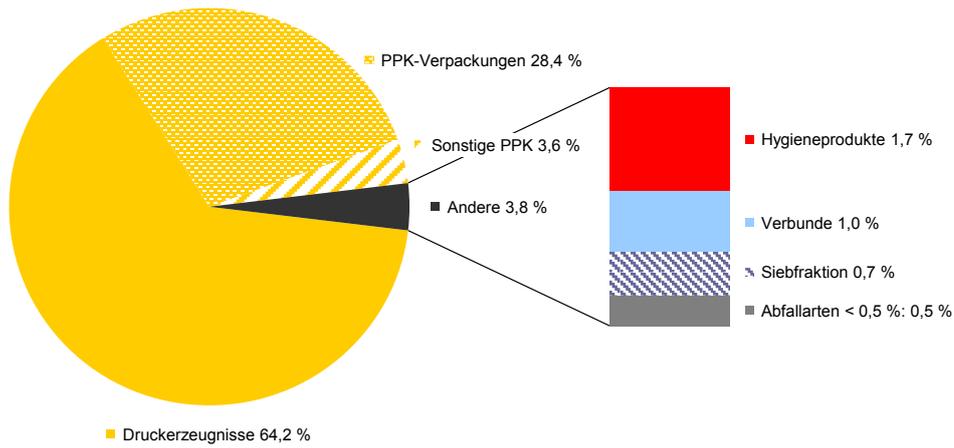


Abb. 31: Prozentuale PPK-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, im Landkreis L25

Landkreis L26: ländlich 39,9 kg/(E · a)



Landkreis L26: städtisch 51,0 kg/(E · a)

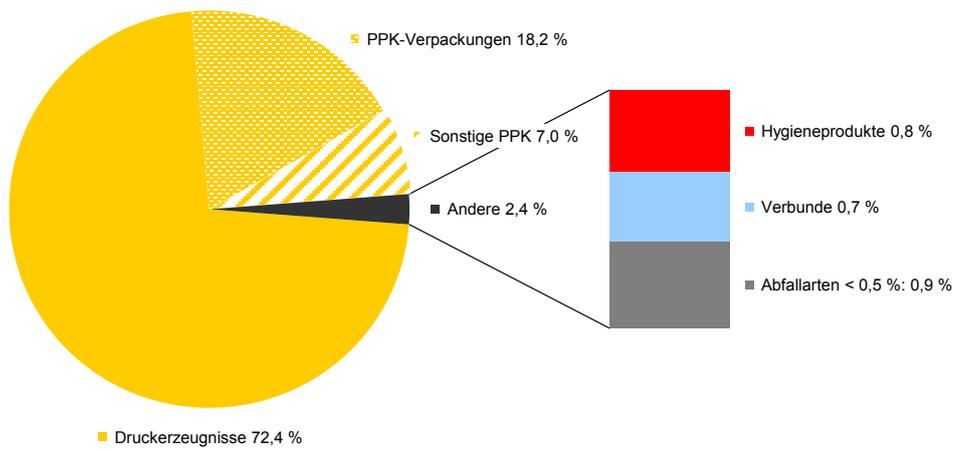


Abb. 32: Prozentuale PPK-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, im Landkreis L26

5.5 Leichtverpackungen (LVP)

5.5.1 Aufkommen

In den drei Gebietskörperschaften erfolgt die Sammlung der Leichtverpackungen (LVP) im Holsystem über den Gelben Sack.

Bei der Probenahme war eine eindeutige Zuordnung zu den zugehörigen Wohneinheiten und damit Einwohnerzahlen im Landkreis L26 unmöglich. Dort werden die Gelben Säcke von den Bürgern in der Regel nicht vor den jeweiligen Grundstücken, sondern an bestimmten Stellen eines Straßenzugs zusammen- und zur Abfuhr bereitgestellt. Somit kann die Zusammensetzung in den drei Gebietskörperschaften, das einwohnerspezifische Aufkommen nur in den Landkreisen L24 und L25 ermittelt werden.

Das LVP-Aufkommen in den Landkreisen L24 (Strukturklasse ländlich) und L25 (Strukturklasse ländlich dicht) beträgt 18,3 und 22,2 kg/(E · a). Die ermittelten Werte sind auf dem Niveau der durchschnittlichen Erfassungsmengen an LVP aus bayerischen Haushalten: Laut Abfallbilanz 2013 [28, S. 33] liegt die spezifische Menge an LVP in Gebietskörperschaften der Strukturklasse ländlich bei 19,7 kg/(E · a) und der Strukturklasse ländlich dicht bei 22,7 kg/(E · a). Zwischen den Gebietsstrukturen der beiden Landkreise ist hinsichtlich des Aufkommens folgender Trend festzustellen: Im Landkreis L24 ist im städtischen Bereich das LVP-Aufkommen mit 19,6 kg/(E · a) am höchsten und im innerstädtischen Bereich mit 14,2 kg/(E · a) am geringsten. Im Landkreis L25 nimmt dagegen das LVP-Aufkommen mit abnehmender Siedlungsdichte deutlich zu: Innerstädtisch {18,0 kg/(E · a)} < städtisch {19,3 kg/(E · a)} < ländlich {25,3 kg/(E · a)}.

5.5.2 Zusammensetzung

Im Gelben Sack sind wie im Restmüll fast alle Obergruppen des Sortierkatalogs mit Ausnahme der Obergruppen Inertes und Holz zu finden (siehe Abb. 33).

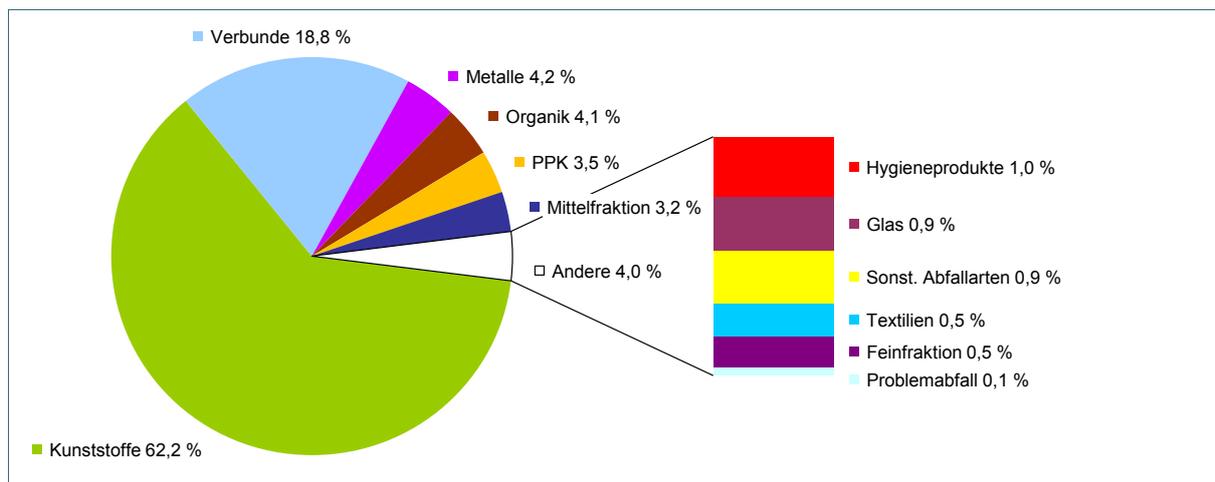


Abb. 33: Durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung der LVP aus privaten Haushaltungen der untersuchten Gebietskörperschaften

Den mit Abstand größten Anteil an den LVP stellt mit durchschnittlich 62,2 Mass.-% die Sortierobergruppe Kunststoffe dar. Sie enthält unter anderem die nicht systemkonformen stoffgleichen Nichtverpackungen (Fraktion Sonstige Kunststoffartikel). Im Landkreis L25 darf der Bürger maximal 5 Mass.-% stoffgleiche Nichtverpackungen in den Gelben Sack geben. Generell darf Styropor über den Gelben Sack nicht entsorgt werden.

Die Obergruppen Verbunde (mit den ebenfalls nicht systemkonformen Fraktionen Elektronikschrott, Mobiltelefone, Renovierungsabfälle, Fahrzeugteile, Staubsaugerbeutel und Sonstige Verbunde) und Metalle machen zusammen 22,9 Mass.-% aus. Dabei werden im Landkreis L24 die Fraktion Fe-Metallverpackungen (wie z. B. Konservendosen), im Landkreis L25 die Fe- und NE-Metallverpackungen als nicht systemkonform eingestuft.

Die restlichen knapp 14,9 Mass.-% bilden weitere Störstoffe (Organik, PPK, Mittelfraktion und Andere).

Gegenüber den anderen beiden Holsystemen zur Wertstofffassung (Bio-, Papiertonne) schneidet der Gelbe Sack mit einem Störstoffanteil von insgesamt über 27 Mass.-% deutlich schlechter ab, vergleiche Abb. 34 bis Abb. 36.

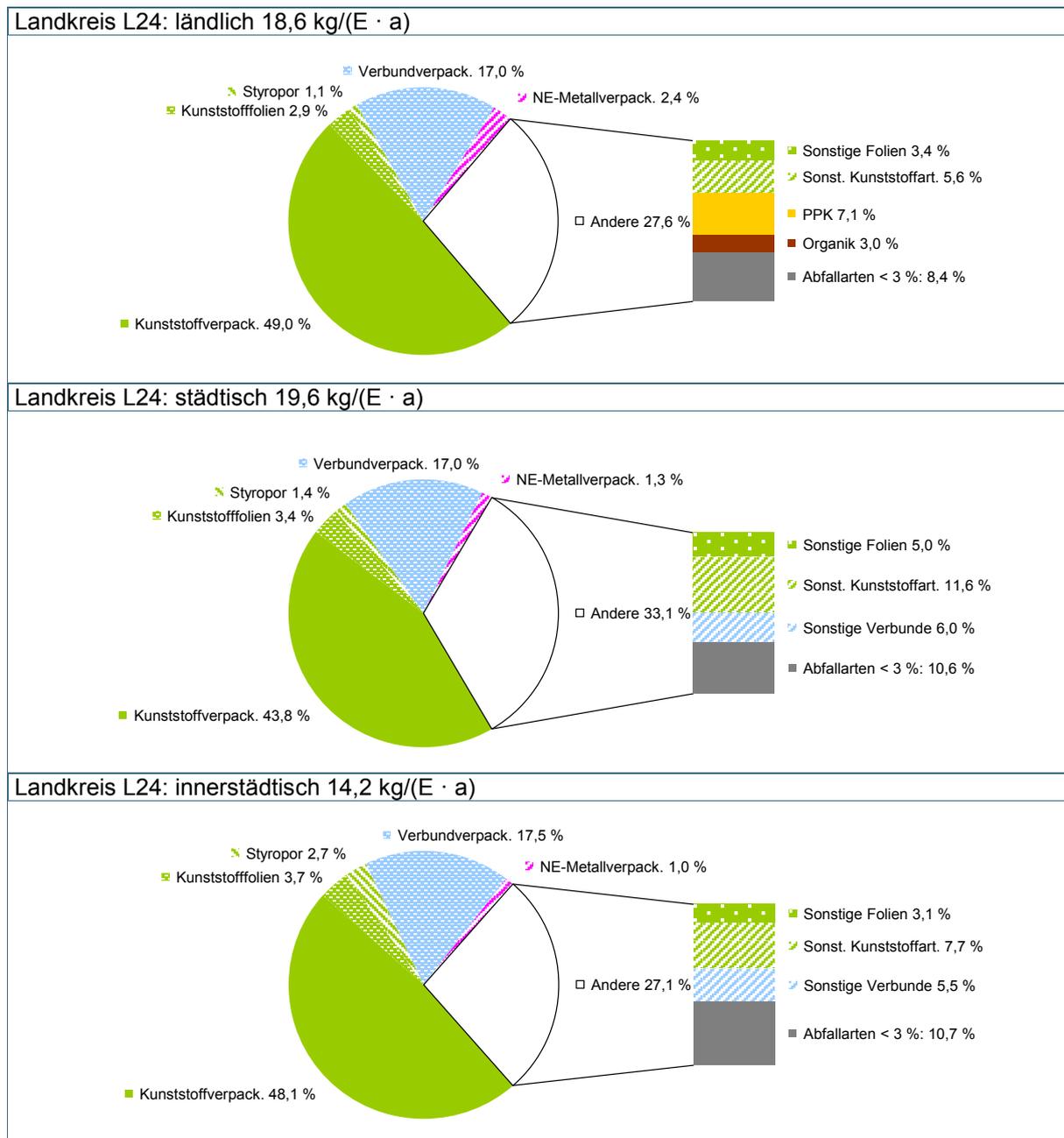


Abb. 34: Prozentuale LVP-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), im Landkreis L24

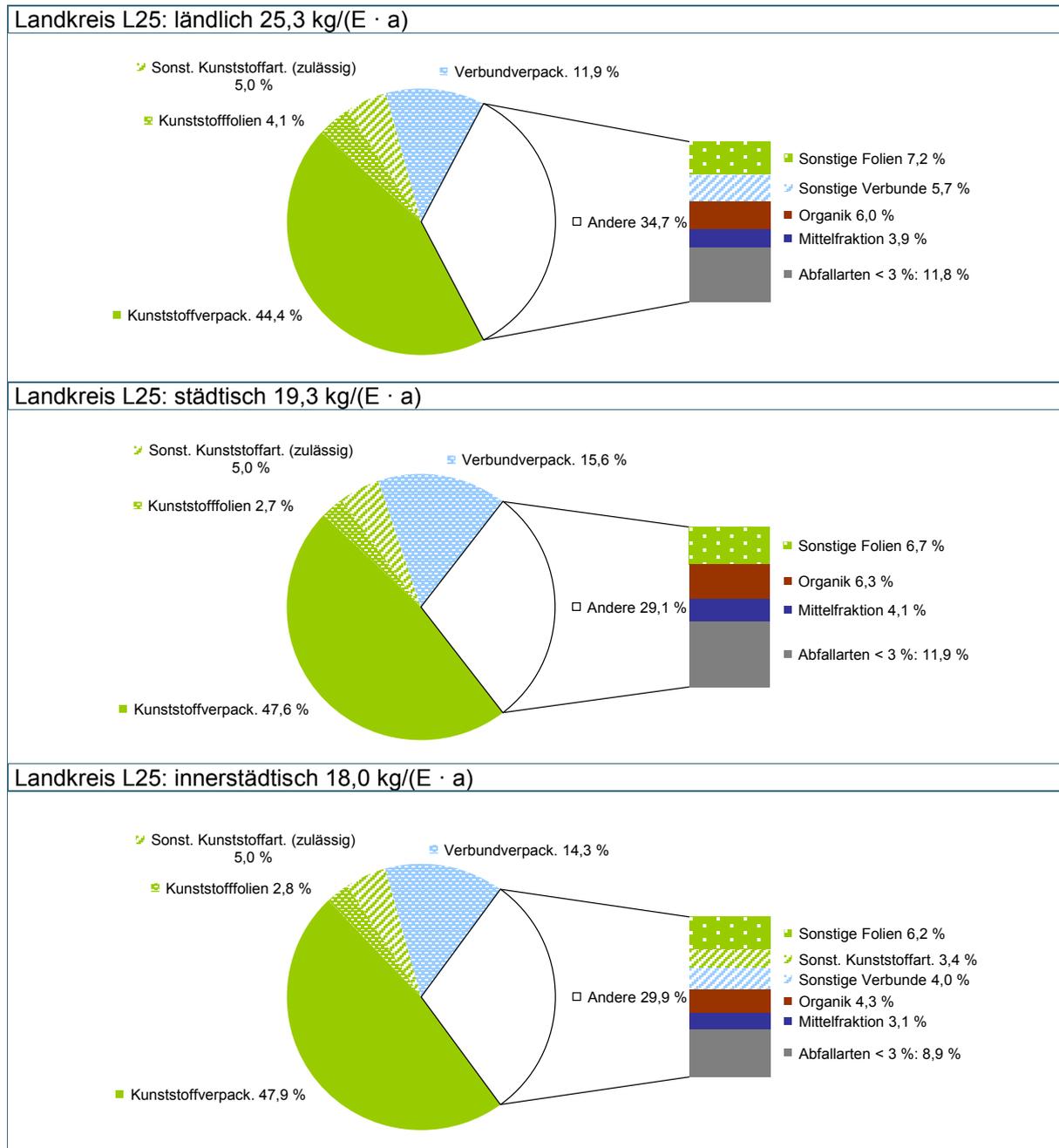


Abb. 35: Prozentuale LVP-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), im Landkreis L25

Die drei Abbildungen zeigen die Zusammensetzung der über das Holsystem separat erfassten LVP in den einzelnen Gebietsstrukturen der drei Landkreise. Systemkonforme Stoffe sind in diesen Abbildungen als farbige Kreissegmente, Störstoffe als Säulenabschnitte dargestellt. Für die Landkreise L24 und L25 konnte das LVP-Aufkommen aufgrund der eindeutigen Zuordnung der Sammelsäcke zu den Grundstücken ermittelt werden. Für den Landkreis L26 ist nur die Zusammensetzung der LVP-Abfälle in den einzelnen Gebietsstrukturen dargestellt (vergleiche Abschnitt 5.5.1).

Hauptmassebildner der LVP sind Kunststoffverpackungen mit Anteilen zwischen 31,5 (Landkreis L26: ländlich) und 49,0 Mass.-% (L24: ländlich). Es fällt auf, dass die Anteile an Kunststoffverpackungen im Landkreis L26 um circa 10 Mass.-% niedriger sind als in den Landkreisen L24 und L25. Die zweit-

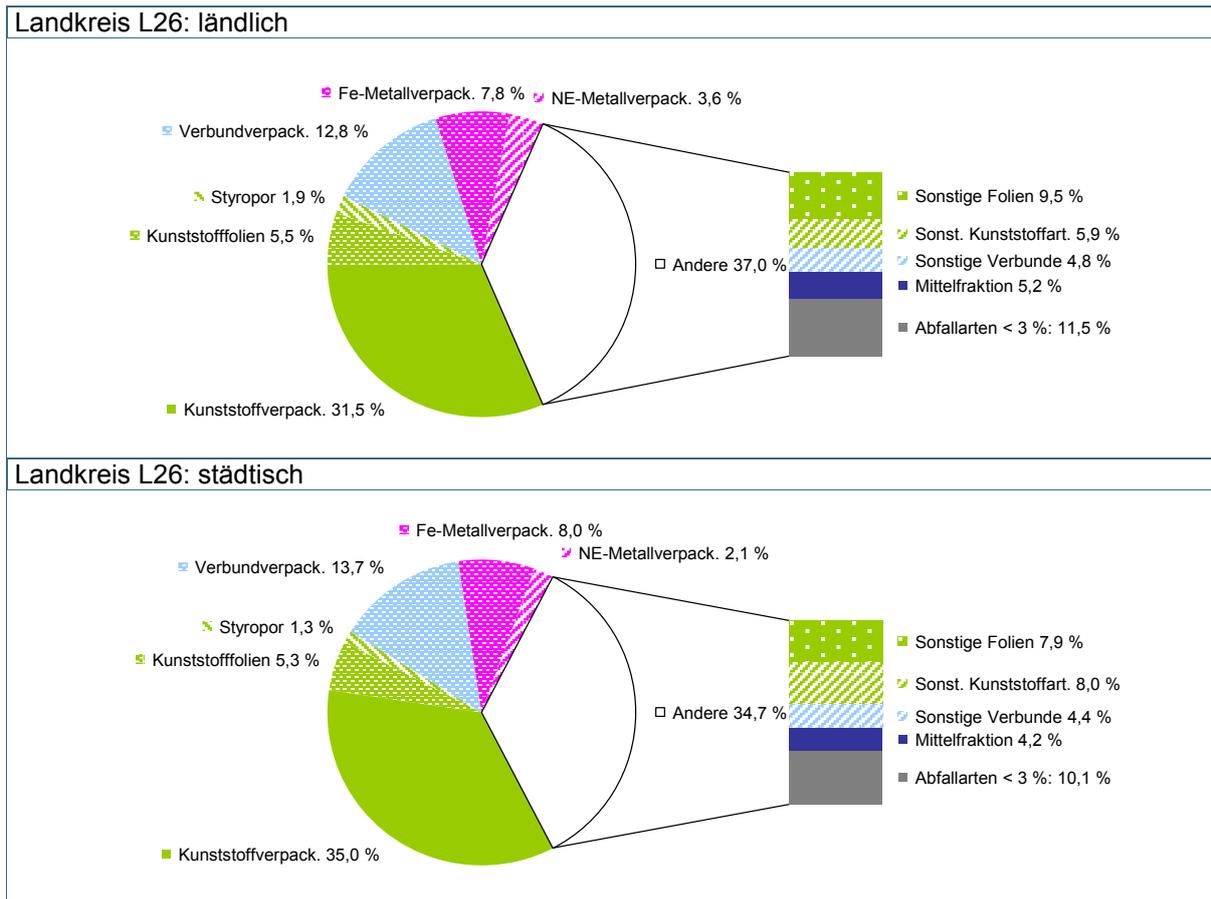


Abb. 36: Prozentuale LVP-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), im Landkreis L26

größte Sortierfraktion ist die Fraktion Verbundverpackungen, deren Anteil zwischen 11,9 (Landkreis L25: ländlich) und 17,5 Mass.-% (L24: innerstädtisch) schwankt. Unter den systemkonformen Sortierfraktionen folgen die Kunststofffolien mit 2,7 (Landkreis L25: städtisch) bis 5,5 Mass.-% (L26: ländlich). Die in den Landkreisen L24 und L26 systemkonforme Fraktion Styropor ist mit 1,1 (Landkreis L24: ländlich) und 2,7 Mass.-% (L24: innerstädtisch) im Gelben Sack enthalten. Die in den Landkreisen L24 und L26 systemkonformen NE-Metallverpackungen kommen mit Anteilen zwischen 1,0 (Landkreis L24: innerstädtisch) und 3,6 Mass.-% (L26: ländlich), die im Landkreis L26 systemkonformen Fe-Metallverpackungen mit Anteilen zwischen 7,8 im ländlichen und 8,0 Mass.-% im städtischen Bereich im Gelben Sack vor (siehe Abb. 36).

Der Störstoffanteil in den separat erfassten LVP liegt in den Gebietsstrukturen der drei Landkreise zwischen 27,1 (Landkreis L24: innerstädtisch) und 37,0 Mass.-% (L26: ländlich). Häufigster Störstoff sind die Sonstigen Kunststoffartikel (stoffgleiche Nichtverpackungen), die im Landkreis L25 bis zu einem Anteil von 5 Mass.-% zugelassen sind. Die Anteile an Sonstigen Kunststoffartikeln liegen zwischen 5,6 (Landkreis L24: ländlich) und 11,6 Mass.-% (L24: städtisch). Als weiterer Störstoff in der Obergruppe Kunststoffe zählen die Sonstigen Folien mit den wiederverwendeten Verpackungen (Kunststofftragetaschen als Müllbeutel eingesetzt) und Müllbeuteln. Sie machen zwischen 3,1 (Landkreis L24: innerstädtisch) und 9,5 Mass.-% (L26: ländlich) der LVP aus. Nicht in jeder Gebietsstruktur sind die folgenden Störstoffe mit Anteilen größer 3 Mass.-% im Gelben Sack enthalten: Sonstige Verbunde mit 4,0 Mass.-% (Landkreis L25: innerstädtisch) bis 6,0 Mass.-% (L24: städtisch), Organik mit 3,0 (L24: ländlich) bis 6,3 Mass.-% (L25: städtisch) und Mittelfraktion mit 3,1 (L25: innerstädtisch) bis 5,2 Mass.-% (L26: ländlich).

5.6 Glas

Die Zusammensetzung der Wertstoffströme weißes, grünes und braunes Behälterglas in den Gebietskörperschaften zeigen die Abb. 37 bis Abb. 39. Die systemkonformen Sortierfraktionen sind als Kreisdiagramm, das Kreissegment Störstoffe als Säulendiagramm dargestellt. Auf eine Differenzierung in verschiedene Gebietsstrukturen wurde verzichtet, da es sich oftmals um kleinräumige Gebiete handelt und davon auszugehen ist, dass das Einzugsgebiet eines Depotcontainers demgegenüber deutlich größer ist.

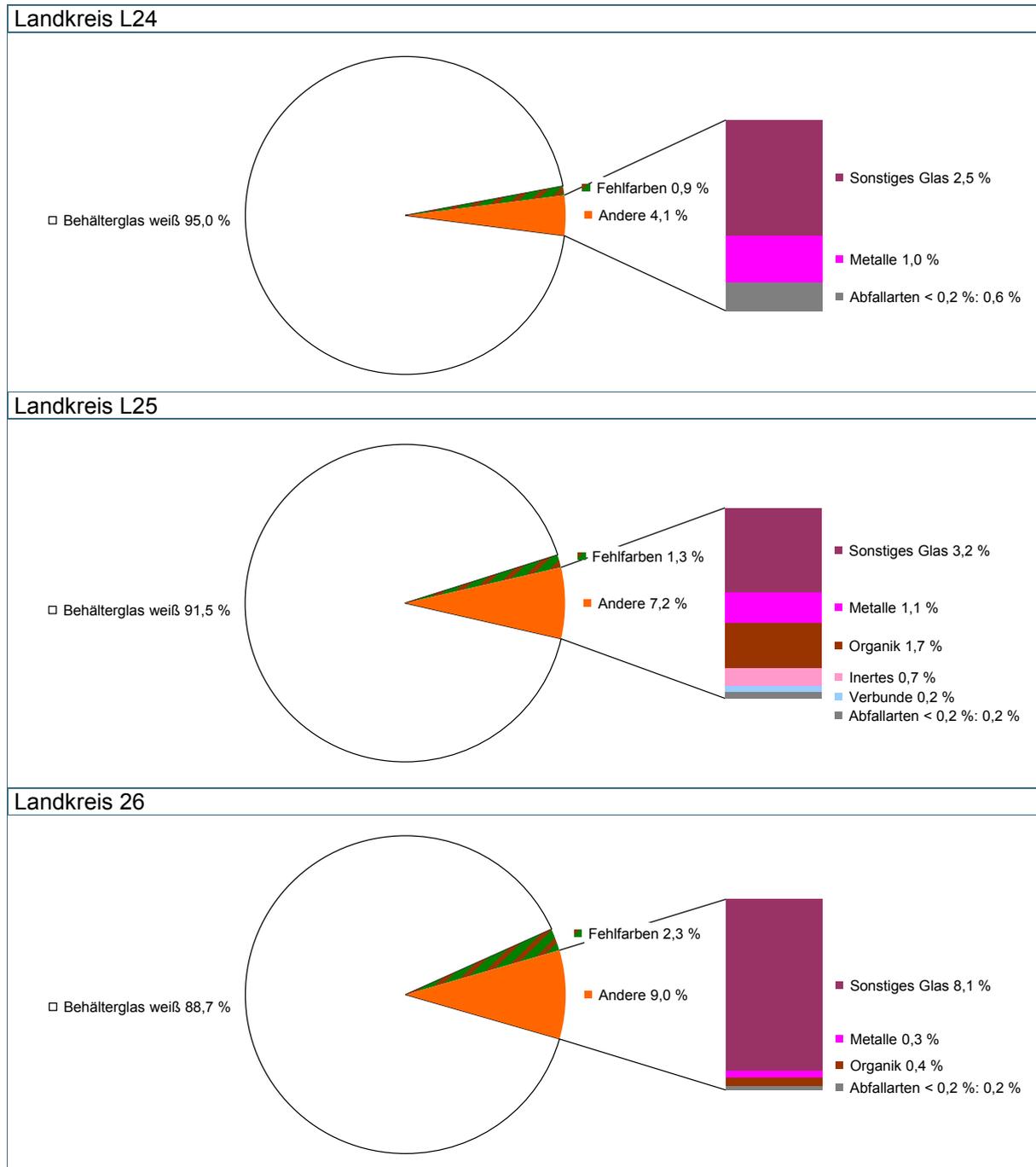


Abb. 37: Prozentuale Zusammensetzung des Weißglases, unterteilt in systemkonforme Materialien (inklusive Fehlfarben; Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in den Landkreisen L24, L25 und L26

Der Inhalt des Depotcontainers für „weißes“ Behälterglas weist gegenüber den Sammelcontainern für Grün- und Braunglas den geringsten Anteil an Fehlfarben (0,9–2,3 Mass.-%) und den größten Gehalt

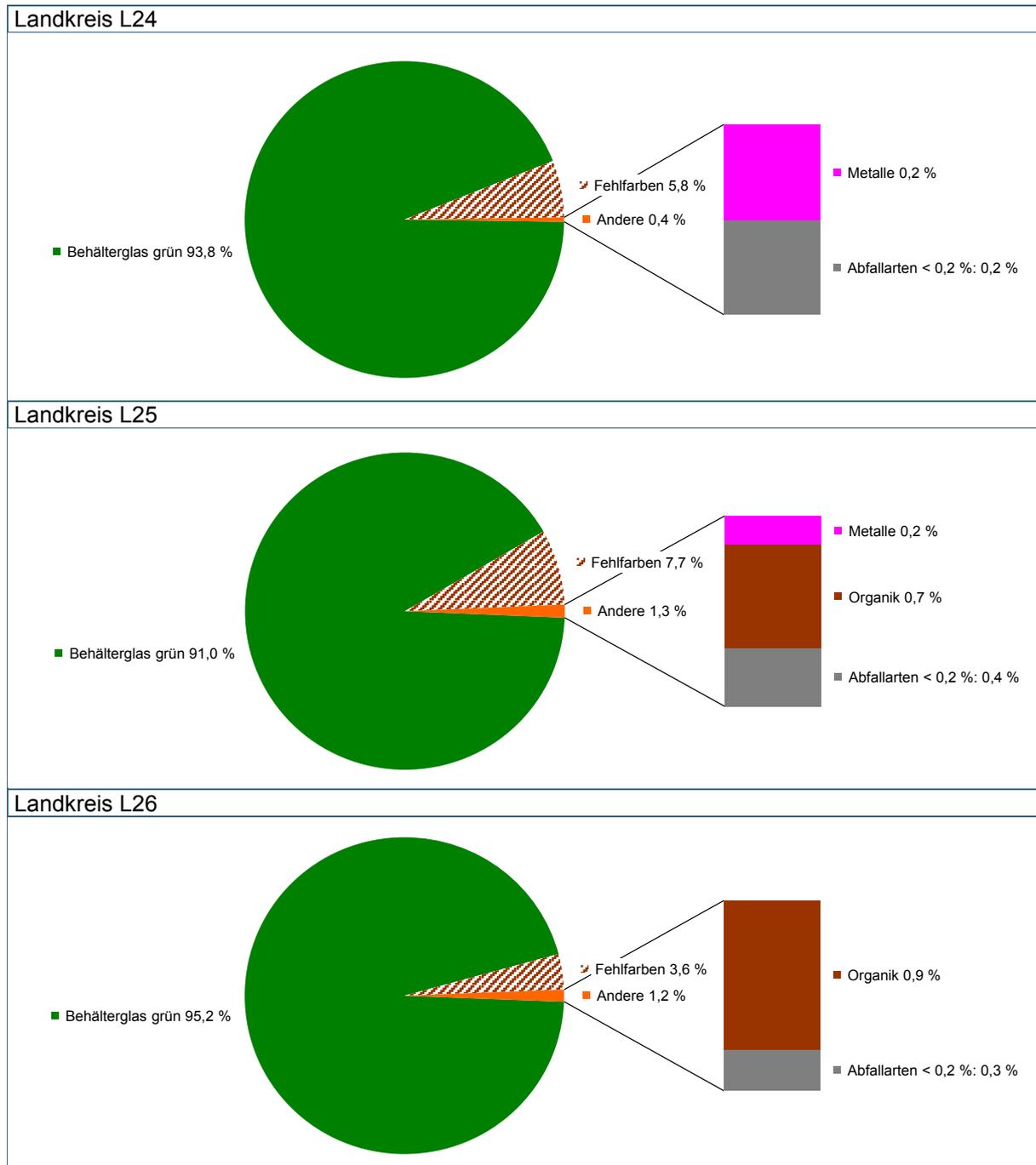


Abb. 38: Prozentuale Zusammensetzung des Grünglases, unterteilt in systemkonforme Materialien (inklusive Fehlfarben; Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in den Landkreisen L24, L25 und L26

an Störstoffen (4,1–9,0 Mass.-%) auf. Bei den nicht systemkonformen Inhaltsstoffen sind vor allem Sonstiges Glas, Metalle, Organik, Inertes und Verbunde zu nennen.

Das im Depotcontainer für grünes Behälterglas gesammelte Altglas zeigt gegenüber „Weiß“glas mit Werten zwischen 3,6 und 7,7 Mass.-% einen deutlich höheren Anteil an Fehlfarben auf. Zugleich besitzt diese Altglassorte mit einem Anteil von 0,4 bis 1,3 Mass.-% an nicht systemkonformen Komponenten wie Sonstiges Glas (Anteile kleiner 0,2 Mass.-%), Metalle (Landkreise L24 und L25) und Organik (Landkreise L25 und L26) gegenüber den beiden anderen Sammelbehältern (für „Weiß“- und Braunglas) den geringsten Störstoffanteil.

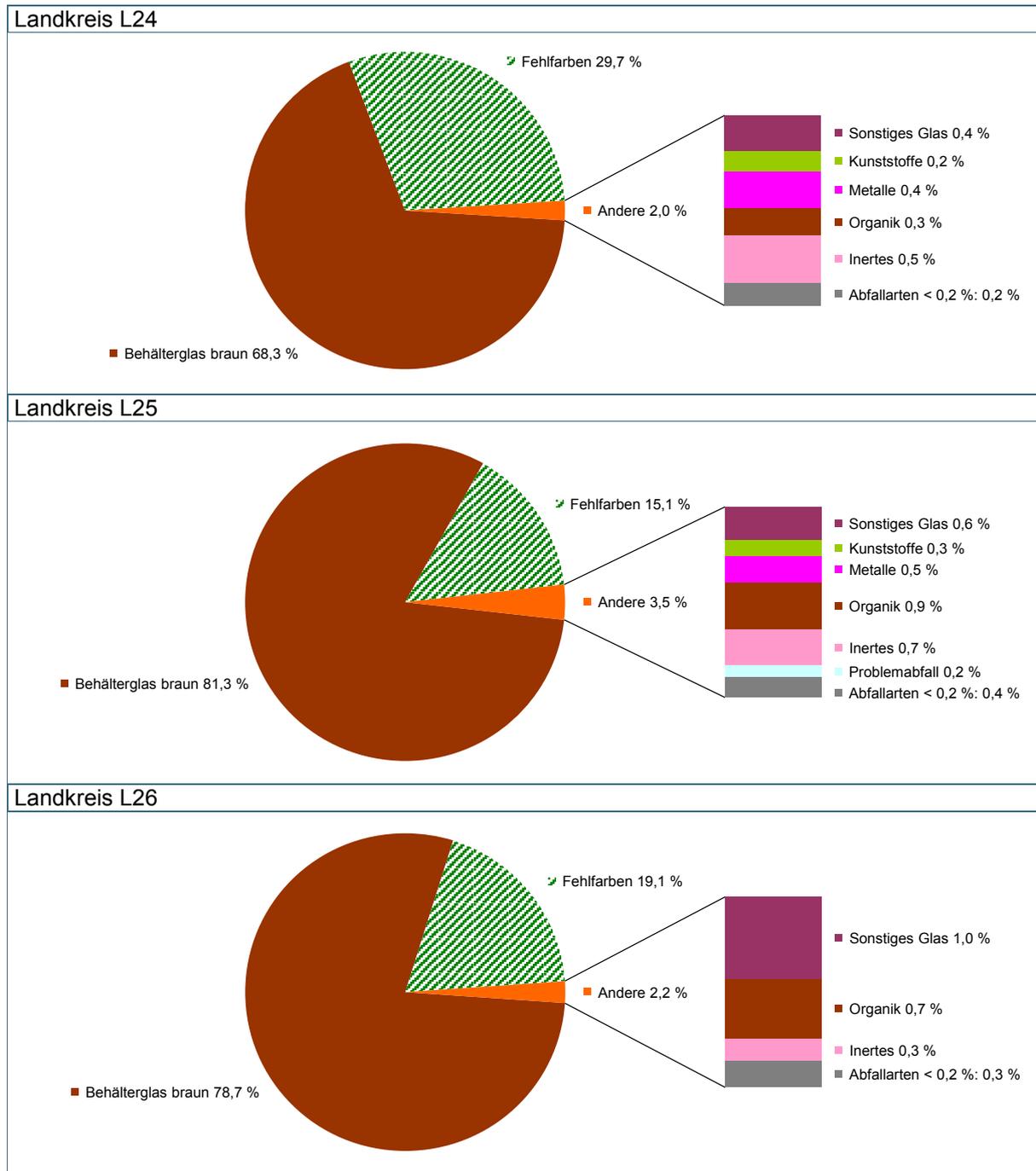


Abb. 39: Prozentuale Zusammensetzung des Braunglases, unterteilt in systemkonforme Materialien (inklusive Fehlfarben; Kressegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in den Landkreisen L24, L25 und L26

In den Depotcontainern für braunes Behälterglas sind mit Anteilen zwischen 15,1 und 29,7 Mass.-% deutlich mehr Fehlfarben vorhanden als im Grünglas-Sammelbehälter. Störstoffe sind zu 2,0 bis 3,5 Mass.-% enthalten. Insbesondere die Fraktionen Sonstiges Glas, Organik und Inertes bilden die nicht systemkonformen Inhaltsstoffe. Daneben sind Kunststoffe und Metalle in den Landkreisen L24 und L25, Problemabfall im Landkreis L25 in den Sammelbehältern anzutreffen.

In Bezug auf den Störstoffanteil in den Glassammelbehältern der drei Gebietskörperschaften schneidet der Landkreis L24 mit maximal 4,1 Mass.-% deutlich besser ab als die Landkreise L25 und L26 mit maximal 9,0 Mass.-%.

5.7 Metalle

Die Zusammensetzung des Wertstoffstroms Metalle aus Haushaltungen der Landkreise L24 und L25 zeigen die Abb. 40 und Abb. 41. Der Wertstoffstrom setzt sich aus den Sortierfraktionen Fe- und NE-Metallverpackungen sowie Sonstige Metallteile zusammen.

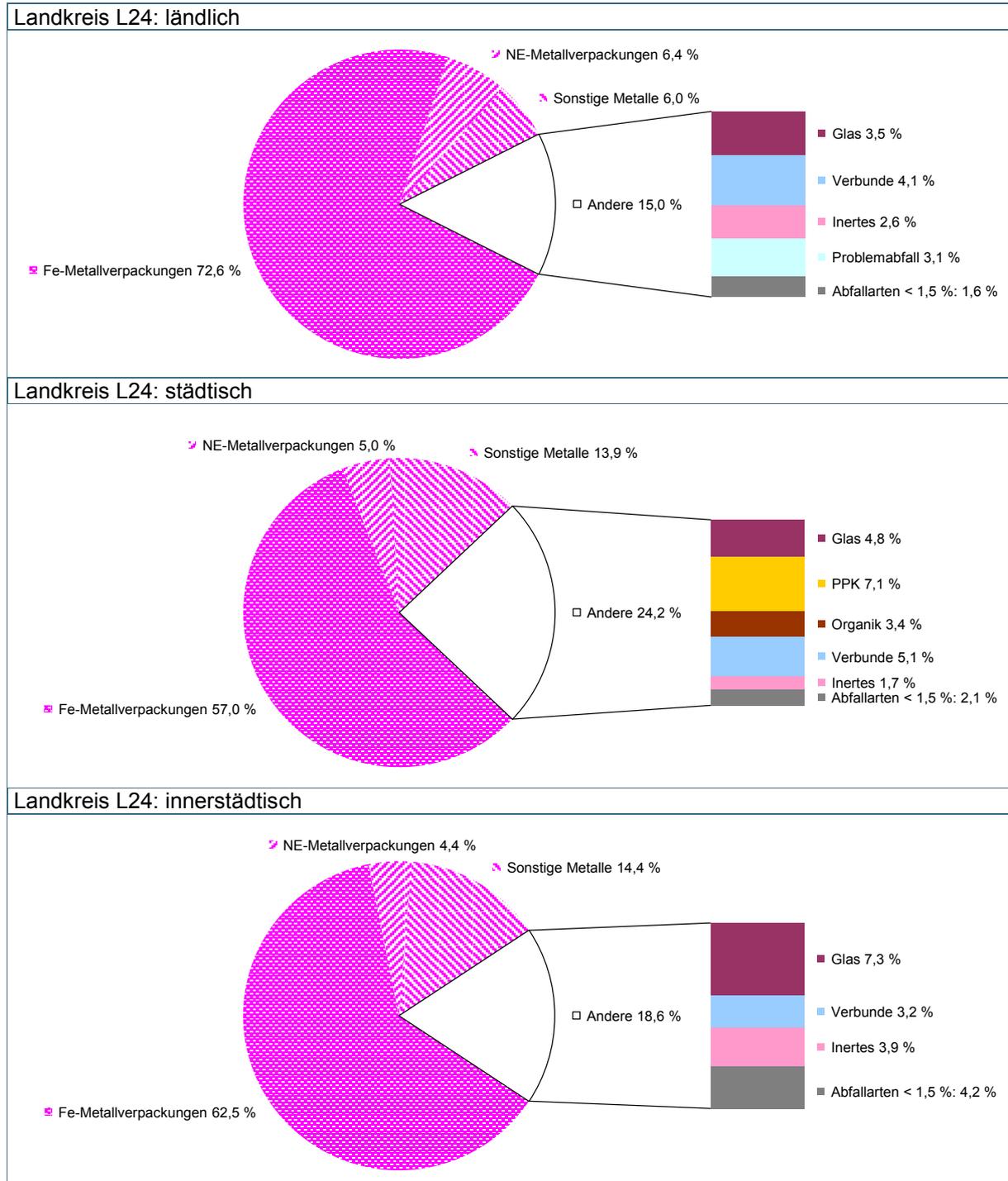


Abb. 40: Prozentuale Zusammensetzung der separat erfassten Metalle, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), im Landkreis L24

Im Landkreis L24 machen in den einzelnen Gebietsstrukturen die Fe-Metallverpackungen den größten Anteil von 57,0 bis 72,6 Mass.-% aus, gefolgt von den Sonstigen Metallteilen mit 6,0 bis 14,4 Mass.-%.

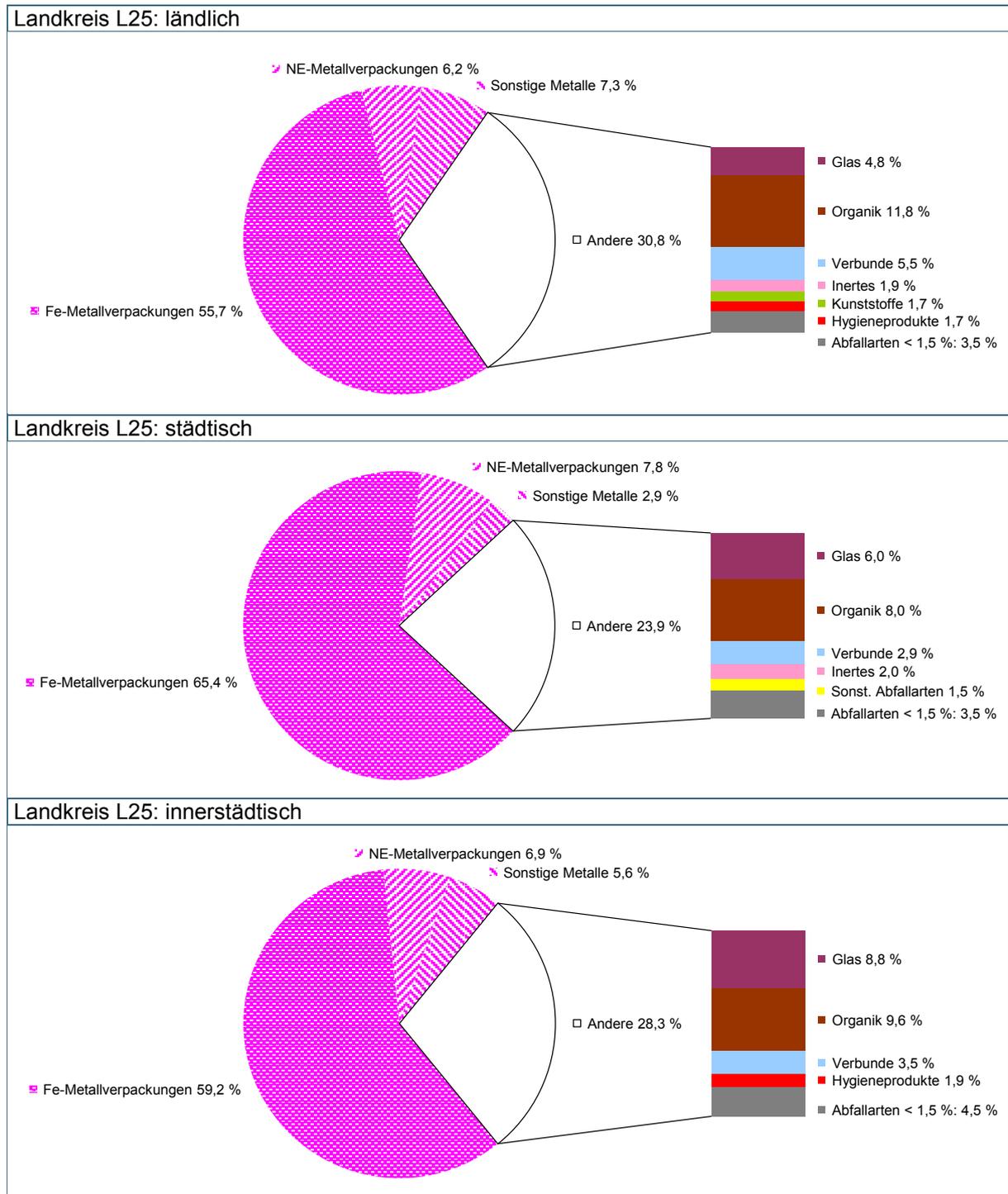


Abb. 41: Prozentuale Zusammensetzung der separat erfassten Metalle, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), im Landkreis L25

NE-Metallverpackungen sind mit einem Anteil von 4,4 bis 6,4 Mass.-% vertreten. Dies zeigt, dass im Haushalt deutlich mehr Fe-Metallverpackungen, wie z. B. Konservendosen, als leichtere NE-Metallverpackungen, wie z. B. Aluminiumdosen, anfallen. Im Landkreis L24 hat der Bürger zusätzlich die Möglichkeit, NE-Metallverpackungen mit den LVP über den Gelben Sack zu entsorgen.

Störstoff mit den höchsten Massenanteilen im Landkreis L24 ist die Obergruppe Glas mit 3,5 bis 7,3 Mass.-%. Danach folgen Verbunde und Inertes. Die Stoffgruppen PPK und Organik waren ledig-

lich im innerstädtischen Bereich, die Obergruppe Problemabfall im städtischen Bereich mit Anteilen größer 1,5 Mass.-% in den Metallsammelbehältern anzutreffen.

Hauptmassebildner im Landkreis L25 mit einem Anteil von 55,7 bis 65,4 Mass.-% sind die Fe-Metallverpackungen. NE-Metallverpackungen und Sonstige Metallteile machen weitere 6,2 bis 7,8 Mass.-% und 2,9 bis 7,3 Mass.-% des Wertstoffstroms aus, womit insgesamt 69,2 bis 76,1 Mass.-% der Metalle systemkonforme Wertstoffe darstellen.

Als häufigster Störstoff im Landkreis L25 sind die organischen Abfälle mit 8,0 bis 11,8 Mass.-% zu nennen. Dies ist auf die vielen halbvollen Konservendosen mit Lebensmitteln zurückzuführen. Weitere Störstoffe sind Glas und Verbunde. Inertes ist dagegen nur in den ländlichen und städtischen Bereichen, Hygieneprodukte im ländlichen und innerstädtischen Bereich mit Anteilen größer 1,5 Mass.-% enthalten.

Insgesamt sind die Störstoffanteile im Landkreis L24 mit maximal 24,2 Mass.-% deutlich niedriger als im Landkreis L25 mit maximal 30,8 Mass.-%.

5.8 Problemabfälle

5.8.1 Batterien

Etliche Batterien hat der Gesetzgeber als „gefährlichen Abfall“ eingestuft. Bei Batterien kann nicht ausgeschlossen werden, dass quecksilber-, cadmium- oder bleihaltige Batterien darunter sind [46]. Für die Schwermetalle Quecksilber, Cadmium und Blei gibt es EU-weite Vorgaben für ihre Maximalgehalte in Gerätebatterien [47]. Zur Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte für das Inverkehrbringen von Batterien [48] untersuchte die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung die Schwermetallgehalte von rund 140 Gerätebatterien (Knopf-, Rundzellen) [49]. Aufgrund der schärferen Grenz- und Kennzeichnungswerte [48] überschritten vorwiegend die Rundzellen die zulässigen Gehalte. Generell dürfen Batterien nicht über den Hausmüll entsorgt, sondern müssen an Sammelstellen oder an Wertstoffhöfen abgegeben werden. Batterien enthalten Rohstoffe, wie z. B. Manganoxid, Zink etc., die für eine Rückführung in den Stoffkreislauf interessant sind. Dies setzt wiederum eine fachgerechte Entsorgung voraus [50].

Bei den im Jahr 2013 am häufigsten in Verkehr gebrachten Gerätebatterien handelt es sich laut [50] um nicht wiederaufladbare Primärbatterien mit 23.500 Mg, die größte Gruppe bilden mit 20.500 Mg die Alkali-Mangan-Batterien. Bei den Sekundärbatterien (wiederaufladbare Batterien und Akkumulatoren) mit 9.000 Mg entfällt der größte Anteil mit 5.200 Mg auf die Lithium-Ionen-Batterien. Im Jahr 2013 wurden 14.800 Mg Altbatterien gesammelt. Bei einer in Verkehr gebrachten Gesamtmasse von rund 32.400 Mg entspricht dies einer Rücknahmequote von 45,2 %. Damit wurde die geforderte Mindest-Sammelquote von 40 % erfüllt [48]. Umgerechnet auf die Einwohner Deutschlands hat im Jahr 2013 jeder Einwohner pro Jahr rund 180 g Altbatterien über das Rücknahmesystem der Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien entsorgt. Das entspricht rund 9 AA-Batterien à 20 g pro Einwohner und Jahr.

Bei den Sortieranalysen wurde, wie in Abschnitt 4.1.2 beschrieben, die Mittelfraktion des Restmülls und der getrennt erfassten Wertstoffe quantitativ nach Batterien durchsucht. Die Abb. 42 zeigt beispielsweise die in einer SPE im Restmüll enthaltenen Batterien. Häufig werden die Elektrokleingeräte mitsamt den enthaltenen Batterien in den Restmüll gegeben (siehe Abb. 43).



Abb. 42: Batterien in einer 1,1 m³-SPE Restmüll



Abb. 43: Batterien in Elektrogeräten wie Taschenlampe (links), Discman und Miniradio (rechts)

Das Aufkommen an Batterien beträgt in den drei Landkreisen 28,9 bis 99,8 g/(E · a). Pro Einwohner und Jahr werden 1,5 bis 5,5 Batterien über den Restmüll entsorgt (siehe Tab. 9). Diese Stückzahlen wurden aus der ermittelten Batterieanzahl hochgerechnet.

Batterien		Landkreis		
		L24	L25	L26
Restmüll	g/(E · a)	99,8	69,8	28,9
	Stück/(E · a)	5,5	4,2	1,5

Tab. 9:
Aufkommen an Batterien im Restmüll in den drei Landkreisen L24, L25 und L26

Die Anzahl der in den separat erfassten Wertstoffen gefundenen Batterien, zusammengefasst aus beiden Sortierkampagnen, ist in Tab. 10 aufgeführt. Auf eine Hochrechnung wurde verzichtet, da das Datenkollektiv in Bezug auf Batterien für die getrennt erfassten Wertstoffe Glas und Metalle mitunter nicht repräsentativ ist. Zudem ist bei den genannten Bringsystemen kein Einwohnerbezug möglich (siehe Abschnitte 5.6 und 5.7).

Batterien	Landkreis		
	L24	L25	L26
Bioabfall	–	3	–
PPK	5	2	–
LVP	15	20	40
Glas weiß	6	44	–
Glas grün	–	52	–
Glas braun	–	–	–
Metalle	16	167	n. v.
Summe	42	288	40

Tab. 10:
Anzahl an Batterien in den separat erfassten Wertstoffen, die bei den beiden Sortierkampagnen in den drei Landkreisen L24, L25 und L26 quantitativ ermittelt wurde (n. v.: nicht vorhanden)

Im Landkreis L24 kamen in den untersuchten Wertstoffen insgesamt 42 Batterien vor, verteilt auf die Papiertonne, den Gelben Sack, die Depotcontainer für „Weiß“glas sowie für Metalle. Die meisten Batterien waren im Landkreis L25 festzustellen. Sie wurden vor allem in den Depotcontainern für Behälterglas „weiß“ und grün sowie für Metalle gefunden. Der Landkreis L26 weist insgesamt die geringste Anzahl an Batterien auf, die ausschließlich im Gelben Sack enthalten waren.

5.8.2 Energiesparlampen und Mobiltelefone (Handys)

5.8.2.1 Energiesparlampen

Energiesparlampen sind Gasentladungslampen, die zu ihrer Leuchtfunktion Quecksilber benötigen. Gasentladungslampen umfassen Energiesparlampen (Kompaktleuchtstofflampen) und Leuchtstoffröhren [51]. Von der EU wurde der maximal zulässige Wert auf 5 mg Quecksilber pro Lampe begrenzt, abhängig vom Beleuchtungszweck und Anwendungsbereich gemäß Anhang III RL 2011/65/EU [52]. Seit dem Jahr 2013 darf der Quecksilbergehalt in Energiesparlampen mit einer Leistung von kleiner 30 W den Wert von 2,5 mg nicht überschreiten. Im Falle eines Lampenbruchs kann das Quecksilber freigesetzt werden. Untersuchungen des Umweltbundesamtes [53] zeigten, dass dabei u. U. gesundheitlich bedeutsame Konzentrationen an Quecksilber entstehen können.



Abb. 44:
Energiesparlampe in einer 1,1 m³-SPE aus dem Restmüll

Gebrauchte Lampen sind aufgrund des enthaltenen Quecksilbers getrennt vom Hausmüll zu entsorgen. Die Auswertung einer Fragebogenaktion durch Unfallversicherungsträger in Deutschland bei Gewerbebetrieben der öffentlichen Hand ergab laut [51], dass in über 80 % der befragten Betriebsstätten Altlampen gesammelt werden. Die befragten Beschäftigten von Wertstoffhöfen gaben dabei an, dass nur ein Bruchteil (circa 1 %) der abgegebenen Lampen zerbrochen sei.

Das Aufkommen an Energiesparlampen im Restmüll ist in allen drei Gebietskörperschaften sehr gering (vergleiche Tab. 11) und beträgt zwischen 4,3 und 12,8 g/(E · a). In den getrennt erfassten Wertstoffen ist die Anzahl sogar so gering, dass davon auszugehen ist, dass die ermittelten Daten keine solide Basis für eine belastbare Hochrechnung bilden.

Tab. 11: Aufkommen und Anzahl an Energiesparlampen im Restmüll der drei untersuchten Gebietskörperschaften L24, L25 und L26

Problemabfall	Einheit	Landkreis		
		L24	L25	L26
Energiesparlampen	g/(E · a)	12,8	4,3	6,9
	Stück ^{*)}	16	11	13

^{*)} Stückzahl in den untersuchten Stichprobeneinheiten des Restmülls

Im Landkreis L24 waren zwei Energiesparlampen im Depotcontainer für Behälterglas weiß und eine im Depotcontainer für Metall enthalten. Im Landkreis L25 waren eine Energiesparlampe im Bioabfall, zwei im Gelben Sack, 12 im „Weiß“glas-, drei im Grünglas- und 4 im Metallcontainer enthalten. Im Landkreis L26 wurden keine Energiesparlampen in den separat erfassten Wertstoffen ermittelt.

Tatsache ist, dass viele Verbraucher ihre ausgedienten Lampen nach Nutzungsende nicht sofort entsorgen. Einer repräsentativen Umfrage zufolge haben 30 % der Deutschen defekte LED- und Energiesparlampen zuhause, die einer fachgerechten Entsorgung bedürfen [54]. Die Fa. Lightcycle Re-tourlogistik und Service GmbH, ein nicht gewinnorientiertes Gemeinschaftsunternehmen führender Leuchtmittelhersteller, versucht durch Informationskampagnen dem entgegenzuwirken [55]. Einer weiteren Umfrage zufolge können 76 % der Deutschen eine konkrete Anlaufstelle für die fachgerechte Entsorgung nennen (entweder Wertstoffhof oder Kleinmengensammelstelle im Handel) [54].

5.8.2.2 Mobiltelefone (Handys)

Einer repräsentativen Umfrage zufolge nutzen 83 % der deutschen Bevölkerung über 14 Jahre ein Mobiltelefon (Handy) oder Smartphone [56]. Es befinden sich vor allem Neugeräte im Einsatz, weshalb die Stückzahl der nicht mehr genutzten Geräte weiter ansteigen wird. Laut [56] bewahren 38 % der Mobiltelefon- und Smartphonebesitzer ihr Altgerät zuhause auf. Dabei enthält ein Megagramm Mobiltelefone bis zu 350 g Gold und damit circa 70 Mal mehr als ein Megagramm Golderz [57]. Zu den weiteren Sekundärrohstoffen in Mobiltelefonen zählen Silber, Palladium, Iridium und Kupfer [58].

Die geringe Anzahl an Mobiltelefonen im Restmüll könnte darauf zurückzuführen sein, dass viele Bürger ihre Althandys entsprechend den Energiesparlampen zu Hause aufbewahren, wie eine repräsentative Umfrage des Branchenverbandes Bitkom ergab [59]. Die Hochrechnung auf Basis der Umfrage zeigt, dass 83 Millionen Mobiltelefone ungenutzt aufbewahrt werden. Zwei Prozent der Befragten gaben an, ihre ausgedienten Mobiltelefone über den Restmüll zu entsorgen, was laut Elektro- und Elektronikgerätegesetz [60] verboten ist.

Die Abb. 45 zeigt 2 Mobiltelefone mit Netzteil und Ladekabel, die in einer SPE Restmüll enthalten waren.

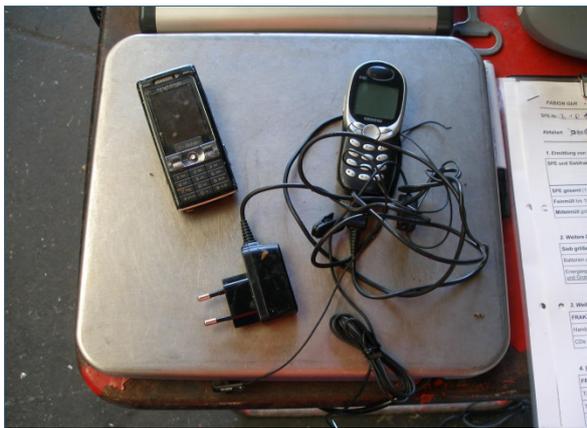


Abb. 45: Ein Mobiltelefon mit Netzteil und Ladekabel und ein schnurloses Telefon aus einer 1,1-m³ SPE Restmüll

Das Aufkommen an Mobiltelefonen im Restmüll liegt bei 1,5 bis 7,0 g/(E · a) (siehe Tab. 12). Eine Umrechnung auf die Stückzahl pro Einwohner und Jahr war nicht möglich, da die Anzahl an Mobiltelefonen für belastbare Ergebnisse zu gering war.

Tab. 12: Aufkommen und Anzahl an Mobiltelefonen im Restmüll der drei untersuchten Gebietskörperschaften L24, L25 und L26

Problemabfall	Einheit	Landkreis		
		L24	L25	L26
Mobiltelefone	g/(E · a)	7,0	4,0	1,5
	Stück	5	2	1

In den drei Landkreisen wurden in den separat erfassten Wertstoffen keine Mobiltelefone ermittelt.

5.9 Restmüll- und Wertstoffaufkommen (insgesamt)

Das spezifische Gesamtabfallaufkommen aus Haushalten – Restmüll, Bioabfall, PPK und LVP im Holzsystem, Glas und Metall im Bringsystem – in den untersuchten Gebietskörperschaften Landkreis L24, L25 und L26 ist in Abb. 46 dargestellt. Es wird mit den Daten 2013 für Bayern [28] verglichen.

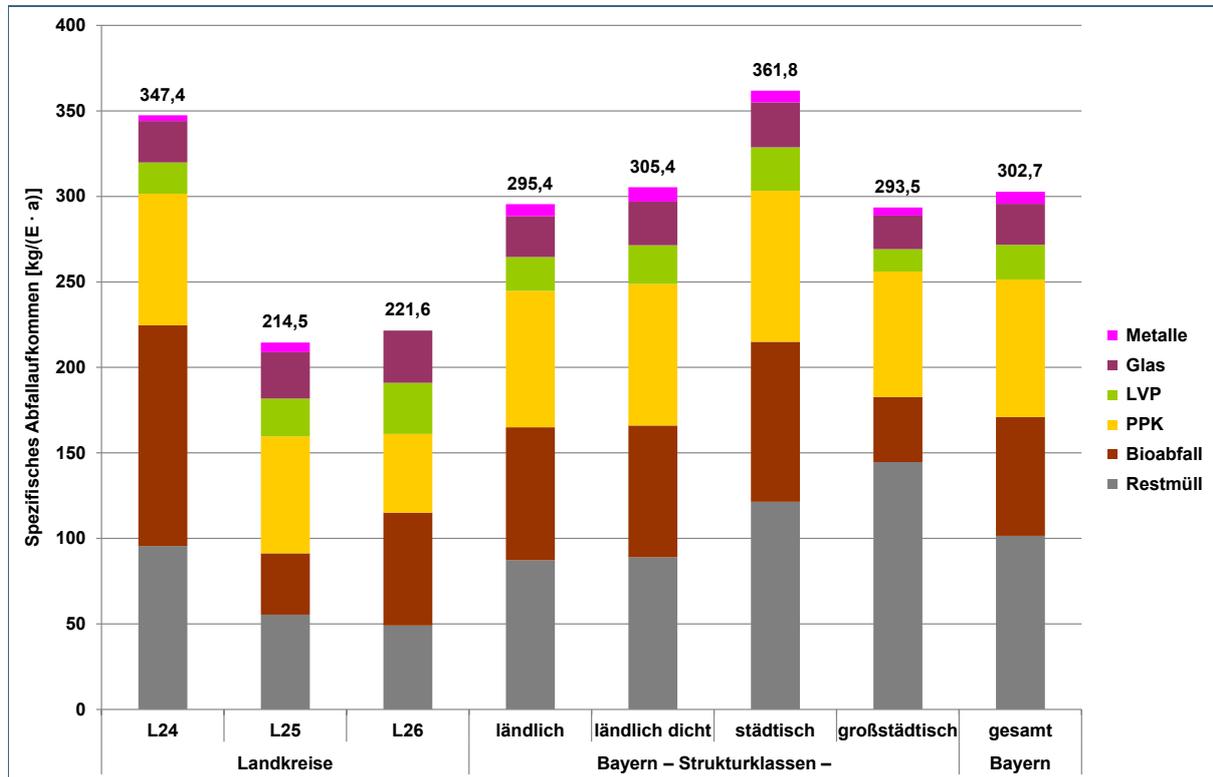


Abb. 46: Spezifisches Gesamtabfallaufkommen aus Haushalten⁴ in den drei Landkreisen L24 (Strukturklasse ländlich), L25 (ländlich dicht) und L26 (ländlich) im Vergleich zu den bayerischen Durchschnittswerten [28]

Der Anteil der vom Bürger getrennt erfassten Wertstoffe am Gesamtabfallaufkommen aus Haushalten liegt in den drei Landkreisen in einem Bereich von 72 % bis 78 % und im Schnitt bei 75 %. Diese Werte liegen deutlich über den Zahlen für Gesamtbayern (66,4 % Wertstoffe vs. 33,6 % Restmüll). Eine analoge Aussage gilt für die betreffenden Strukturklassen, die über die Einwohnerdichte definiert sind – ländlich: 70,5 % vs. 29,5 % und ländlich dicht: 70,9 % vs. 29,1 % (gegenüber städtisch: 66,4 % vs. 33,6 % und großstädtisch: 50,7 % vs. 49,3 %).

Vergleicht man die prozentualen Anteile des Wertstoffaufkommens mit dem Durchschnittswert der jeweiligen Strukturklasse, sind der Landkreis L24 um 2,9, der Landkreis L25 um 4,7 und der Landkreis L26 um 10,5 Prozentpunkte über den Werten für die Gebietsstrukturen ländlich (L24, L26) und ländlich dicht (L25) für Bayern. Das heißt, die in den drei untersuchten Gebietskörperschaften etablierten Ident-Systeme tragen zu einem erhöhten Anteil der getrennt erfassten Wertstoffe am Gesamtabfallaufkommen bei.

Der Vergleich der einzelnen Abfallarten mit den bayerischen Durchschnittswerten (siehe Abb. 47) zeigt folgendes Ergebnis:

⁴ Angaben für die Wertstoffe LVP (Landkreis L26), Glas und Metalle stammen von den Gebietskörperschaften.

- Restmüll.** Das Restmüllaufkommen (ohne Geschäftsmüll) ist in den Landkreisen L25 (ländlich dicht) und L26 (ländlich) sowohl gegenüber den Werten für die betreffende Strukturklasse (L25: $\Delta -38\%$, L26: $\Delta -44\%$) als auch gegenüber dem Aufkommen für Gesamtbayern (L25: $\Delta -45\%$, L26: $\Delta -52\%$) extrem niedrig. Im Landkreis L24 liegt das Aufkommen um 6 % unterhalb des Aufkommens für Gesamtbayern, aber um 10 % über dem Durchschnittswert für die Strukturklasse ländlich.
- Bioabfall.** Das Bioabfallaufkommen im Landkreis L24 ist extrem hoch. Es liegt um 66 % über dem Durchschnittswert für die Strukturklasse ländlich und um 86 % über dem Durchschnittswert für Gesamtbayern. Das andere Extrem bildet der Landkreis L25, dessen Bioabfallaufkommen in etwa an das Aufkommen der Strukturklasse großstädtisch heranreicht und um 53 % unterhalb des Werts für die Strukturklasse ländlich dicht liegt. Im Vergleich zu Bayern gesamt liegt der Unterschied bei -48% . Dazwischen befindet sich der Landkreis L26, dessen Bioabfallaufkommen den Wert der Strukturklasse ländlich um 15 % und den Wert für Gesamtbayern um 5 % unterschreitet.

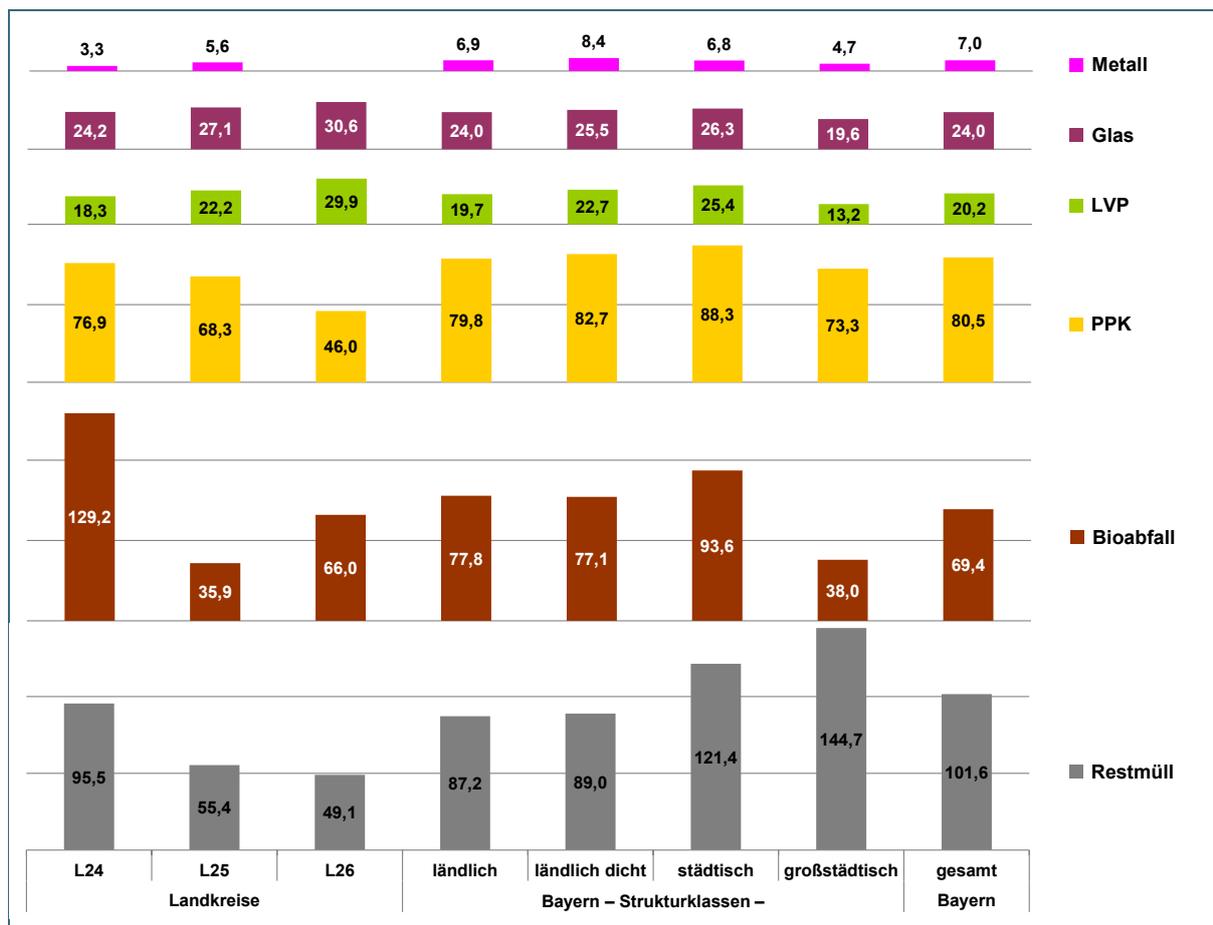


Abb. 47: Restmüll- und Wertstoffaufkommen (Bioabfall, PPK, LVP, Glas, Metall) aus Haushalten in den drei Landkreisen L24 (Strukturklasse ländlich), L25 (ländlich dicht) und L26 (ländlich) im Vergleich zu den bayerischen Durchschnittswerten [28]. Alle Zahlenwerte in kg/(E · a)

- **Papier, Pappe, Kartonagen (PPK).** Das PPK-Aufkommen erreicht in den Landkreisen L24 und L25 nicht ganz die Werte Bayerns für die jeweilige Strukturklasse (L24: $\Delta -4 \%$, L25: $\Delta -17 \%$) und damit auch nicht die Werte für Gesamtbayern (L24: $\Delta -4 \%$, L25: $\Delta -15 \%$). Extrem niedrig ist das Aufkommen im Landkreis L26. Der Wert für die Strukturklasse ländlich wird um 42 %, der Wert für Gesamtbayern um 43 % unterschritten. Die Ursachen für das niedrige Aufkommen bleiben offen, zumal kaum mehr karitative Altpapiersammlungen, z. B. von Vereinen, durchgeführt werden.
- **Leichtverpackungen (LVP).** Das Aufkommen an Leichtverpackungen, die aufgrund ihrer geringen spezifischen Masse einen kleineren „Masse“beitrag zum Abfallaufkommen liefern, ist im Landkreis L24 um 7 % und im Landkreis L25 um 2 % unterhalb des korrespondierenden Werts für die jeweilige Strukturklasse. Deutlich mehr an „LVP“ werden im Landkreis L26 gesammelt, denn dort werden auch die Fe- und NE-Metallverpackungen über den Gelben Sack erfasst. Die Werte liegen gegenüber der Strukturklasse um 52 % und gegenüber dem Wert für Gesamtbayern um 48 % höher.
- **Glas.** Die Werte für Altglas liegen stets oberhalb der für Bayern geltenden Durchschnittswerte (L24: $\Delta 1 \%$, L25: $\Delta 6 \%$, L26: 28 % in Bezug auf die Strukturklassen, L24: $\Delta 1 \%$, L25: $\Delta 13 \%$, L26: 28 % in Bezug auf Gesamtbayern) etwa auf gleichem Niveau.
- **Metall.** Die in den Landkreisen L24 und L25 erfassten Metalle liegen unter den Vergleichswerten für die entsprechenden Strukturklassen (L24: $\Delta -52 \%$, L25: $\Delta -33 \%$) bzw. Bayern gesamt (L24: $\Delta -53 \%$, L25: $\Delta -20 \%$).

Die festgestellten Extremwerte im Aufkommen der einzelnen Abfallfraktionen deuten darauf hin, dass neben dem Ident-System mit Leerungs- und Gewichtsgebühr (Landkreis L25, L26) noch andere Faktoren (z. B. Lebensumstände, Bevölkerungsstruktur etc.) das Entsorgungsverhalten des Bürgers und damit das Abfallaufkommen in den drei untersuchten Landkreisen wesentlich beeinflussen.

Das maximale Wertstoffpotenzial im Restmüll liegt in den drei Gebietskörperschaften in einem Bereich von 49 % bis 61 %, siehe Tab. 13. Vergleicht man diese Werte mit früher erhobenen Daten [1, 2, 3, 5], so ist das maximale Wertstoffpotenzial selbst in den beiden Landkreisen mit Leerungs- und Gewichtsgebühr (Landkreis L25 und L26) zwar um etliche Prozentpunkte darunter, aber insgesamt trotz des geringen Restmüllaufkommens als relativ hoch einzustufen.

Tab. 13: Maximales Wertstoffpotenzial im Restmüll aus privaten Haushaltungen in den Landkreisen L24, L25 und L26

Abfallart	Landkreis					
	L24		L25		L26	
	[kg/(E · a)]	[Mass.-%]	[kg/(E · a)]	[Mass.-%]	[kg/(E · a)]	[Mass.-%]
Restmüll	58,5	61,3	30,7	55,4	24,0	48,8

Die Qualität der getrennt erfassten Wertstoffe – Bioabfall, PPK, LVP, Altglas und Metalle – wird indirekt anhand des Störstoffanteils, vergleiche Tab. 14, beurteilt.

Tab. 14: Ermittelte Störstoffe in den getrennt erfassten Wertstoffen aus privaten Haushalten in den Landkreisen L24, L25 und L26; k. A.: keine Angabe

Abfallart/Wertstoffe	Landkreis					
	L24		L25		L26	
	[kg/(E · a)]	[Mass.-%]	[kg/(E · a)]	[Mass.-%]	[kg/(E · a)]	[Mass.-%]
Bioabfall	2,8	2,1	1,3	3,7	1,9	2,8
PPK	4,3	5,6	2,9	4,3	1,4	3,1
LVP	5,3	28,9	7,2	32,5	10,8	36,0
Weißglas	0,5	4,1	k. A.	7,2	k. A.	9,0
Grünglas	0,04	0,4	k. A.	1,3	k. A.	1,2
Braunglas	0,03	2,0	k. A.	3,5	k. A.	2,2
Metall	0,6	17,5	1,6	27,8		

In den drei Landkreisen weisen die LVP, gefolgt von den Metallen, den höchsten Störstoffanteil auf, der über ein Drittel der getrennt erfassten LVP-Masse ausmachen kann. Demgegenüber sind deutlich weniger Störstoffe in der Bioabfalltonne, in der Papiertonne, im Altglas – teilweise im unteren einstelligen Prozentbereich – anzutreffen. Trotz der Verbraucherkampagnen zum richtigen Trennen, z. B. Glasrecycling [61] – zeigen die Daten, dass Verbesserungspotenzial beim richtigen Trennen vorhanden ist. Dies gilt insbesondere für die Leichtverpackungen, wo es sich für den Bürger im Unterschied zu Bioabfall, PPK und Glas nicht schon aus der Begrifflichkeit erschließt, welche Verpackungsabfälle in den Gelben Sack gehören.

Wie in Abb. 48 zu sehen, ist das im Restmüll enthaltene Wertstoffpotenzial im Vergleich mit früher untersuchten Gebietskörperschaften [1, 2, 3] in den Landkreisen L25 und L26 (jeweils mit gewichtsabhängigem Gebührensystem) am geringsten. Der Landkreis L24, mit leerungsabhängigem Gebührensystem, liegt hingegen im mittleren Bereich. Aus Vergleichsgründen wurden die aktuellen Daten gemäß der Zuordnung der Sortierfraktion zu Wertstoffen nach [1] ausgewertet, vergleiche Abschnitt 5.2.3.

Das Organik-Aufkommen im Restmüll ist in Gebietskörperschaften mit Ident-System ohne Getrennterfassung für Bioabfälle deutlich höher als in Gebietskörperschaften mit Ident-System, die ein benutzerfreundliches Holsystem etabliert haben (siehe Abb. 48). Beim PPK- und LVP-Aufkommen im Restmüll liegen die Gebietskörperschaften mit Ident-System vorwiegend in der unteren Hälfte. Das heißt, das Wertstoffpotenzial von PPK und LVP im Restmüll ist in den meisten Gebietskörperschaften mit Ident-System niedriger als in Gebietskörperschaften ohne Ident-System.

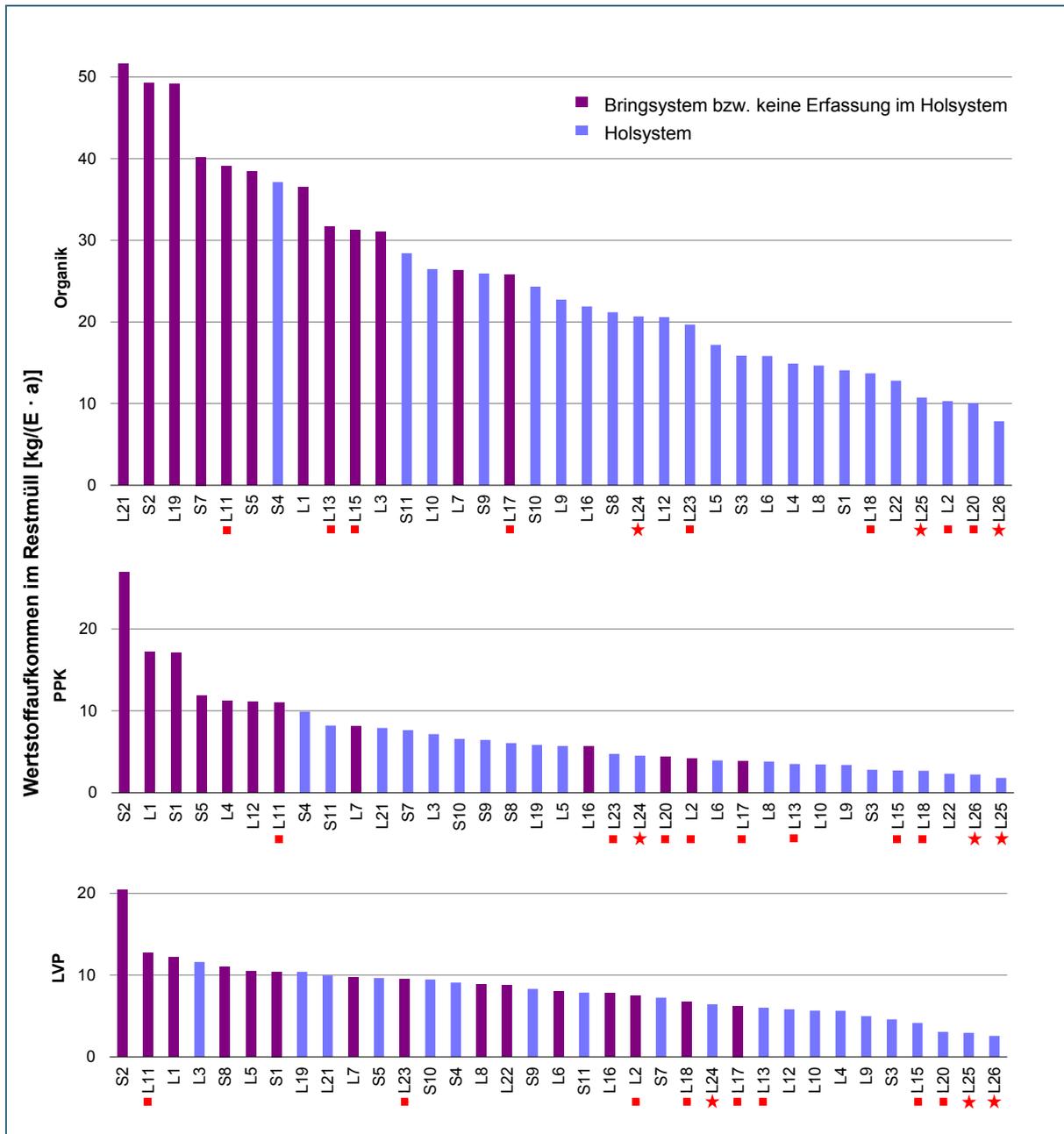


Abb. 48: Organik-, PPK- und LVP-Aufkommen im Restmüll in Abhängigkeit vom Erfassungssystem: Vergleich der untersuchten Gebietskörperschaften (mit ★, weitere Gebietskörperschaften mit Ident-System mit ■ gekennzeichnet) mit Daten früherer BayLfU-Untersuchungen [1, 2, 3]

5.10 Abfallanalysen

Bei jeder Sortierkampagne wurden 10 Analysestoffgruppen (6 × Restmüll, 4 × getrennt erfasste Wertstoffe; siehe Tab. 15) gezogen und auf physikalisch-chemische Parameter untersucht. Vom Bioabfall wurden zusätzlich Proben für die Bestimmung des Biogaspotenzials genommen (vergleiche Abschnitt 4.4). In den folgenden Abschnitten werden die Analyseergebnisse für die jeweiligen Analysestoffgruppen (ASG; Durchschnittswerte aus Einzelbestimmungen) aus dem Restmüll und den getrennt erfassten Wertstoffen dargestellt.

Die Konzentrationsangaben beziehen sich auf die Trockenmasse der entsprechenden ASG, der Wassergehalt und das Biogasbildungspotenzial auf die Originalsubstanz. Bei der Mittelwertbildung gingen Einzelwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze mit deren Wert ein.

5.10.1 Physikalisch-chemische Summenparameter

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften wie Wassergehalt, Glühverlust und Heizwert sind für die untersuchten Analysestoffgruppen in Tab. 15 zusammengefasst.

Restmülltonne. Die von organischen Bestandteilen dominierten ASG Mittelfraktion (siehe Abschnitt 5.2.3) und Organik weisen hohe Wassergehalte auf und bestimmen aufgrund ihres Massenanteils den Wassergehalt in der Restmülltonne, der bei früheren Untersuchungen bei rund 37 Mass.-% lag [1, 13]. Die vergleichsweise „trockenen“ Analysestoffgruppen Sonstige Kunststoffe, Sonstige Verbunde und Schuhe weisen im Restmüll geringe Massenanteile auf.

Die Glühverluste als Summenparameter für den Anteil organischer Bestandteile an der Trockenmasse der untersuchten Analysestoffgruppen betragen – abgesehen von der Feinfraktion – über 70 Mass.-% und erreichen Werte bis maximal 95 Mass.-% (Sonstige Kunststoffe).

Die ermittelten Heizwerte liegen in einem Bereich von 6,8 bis 36,1 MJ/(kg TM). Obwohl die Glühverluste der ASG Organik, Sonstige Verbunde und Schuhe in etwa gleich sind, deuten die erhöhten Heizwerte der Sonstigen Verbunde und Schuhe auf gegenüber der Organik heizwertreichere Inhaltsstoffe (z. B. Kunst-, Klebstoffe, Gummi etc.) hin.

Insgesamt bestätigen die aktuellen punktuellen Daten weitgehend die Ergebnisse früherer Untersuchungen [1, 13].

Tab. 15: Wassergehalt, Glühverlust und Heizwert der untersuchten Analysestoffgruppen aus der Restmüll- bzw. den Wertstofftonnen

Sammelsystem	Analysestoffgruppe	Wassergehalt [Mass.-%]	Glühverlust [Mass.-%]	Heizwert [MJ/(kg TM)]
Restmülltonne	Feinfraktion	29,2	39,1	6,8
	Mittelfraktion	49,9	70,5	14,8
	Organik	58,3	88,7	17,8
	Sonstige Kunststoffe	1,1	95,4	36,1
	Sonstige Verbunde	5,3	87,5	23,7
	Schuhe	4,0	87,0	23,5
Wertstofftonnen				
• Bioabfall	Organik	70,4	87,6	16,9
• Altpapier	PPK	8,4	79,1	13,4
• LVP	Kunststoffverpackungen	3,7	96,6	36,8
	Verbundverpackungen	17,8	88,8	22,9

Wertstofftonnen. Gegenüber dem Restmüll weist/en der Bioabfall (ASG Organik) einen deutlich höheren, die separat erfassten Wertstoffe Altpapier (ASG PPK) und Leichtverpackungen {ASG Kunststoffverpackungen (circa ein Drittel bis die Hälfte der LVP), Verbundverpackungen (circa ein Sechstel der LVP)} dagegen deutlich niedrigere Wassergehalt/e auf. Im Gelben Sack ist der Wassergehalt der Verbundverpackungen {z. B. Getränke„kartons“ (außen plastifizierter, innen mit Aluminium kaschierter Karton)} höher als der der Kunststoffverpackungen, was vor allem auf die enthaltenen Flüssigkeitsreste (Milch, Saft etc.) zurückzuführen ist.

Aufgrund des Einsatzes von anorganischen Zuschlagstoffen (Füllstoffe, Pigmente etc.) bei der Papierherstellung zeigt die ASG PPK den im Vergleich zu den anderen untersuchten, ebenfalls organischen ASG niedrigsten Glühverlust.

Kunststoffverpackungen weisen mit 36,8 MJ/(kg TM) den höchsten Heizwert auf, während die Verbundverpackungen aufgrund des Materialmixes einen deutlich niedrigeren Wert besitzen.

Hinsichtlich der Untersuchungsparameter Wassergehalt und Glühverlust ist eine weitgehende Übereinstimmung mit den in [5] veröffentlichten Daten für getrennt erfasste Wertstoffe festzustellen.

5.10.2 Massebildner

5.10.2.1 Kohlenstoff

Die Gehalte an anorganisch gebundenem (Carbonat-Kohlenstoff), organisch gebundenem (berechnet aus der Differenz von Gesamt- und Carbonat-Kohlenstoff) und Gesamt-Kohlenstoff in den untersuchten Analysestoffgruppen sind in Tab. 16 zusammengefasst.

Restmülltonne. Die ASG mit dem höchsten Anteil anorganischer Bestandteile an der Trockenmasse (Feinfraktion) besitzt mit 1,8 Mass.-% auch den höchsten Anteil an anorganisch gebundenem (Carbonat-)Kohlenstoff. Bezogen auf den Gesamt-Kohlenstoff-Gehalt liegt der Anteil an Carbonat-Kohlenstoff bei der Feinfraktion bei 9,5 Mass.-% und bei der Mittelfraktion bei 1,4 Mass.-%, während bei den übrigen ASG der Anteil stets kleiner 1 Mass.-% ist. Bis auf die Feinfraktion gibt der Gesamt-Kohlenstoff-Gehalt der untersuchten ASG in erster Näherung den Gehalt an brennbarem Kohlenstoff wieder.

Tab. 16: Kohlenstoffgehalte (anorganisch, organisch gebunden, gesamt; jeweils bezogen auf Trockenmasse) der Analysestoffgruppen aus der Restmüll- und den Wertstofftonnen

Sammelsystem	Analysestoffgruppe	C _{anorganisch} [Mass.-%]	C _{organisch} [Mass.-%]	C _{gesamt} [Mass.-%]
Restmülltonne	Feinfraktion	1,8	17,2	19,0
	Mittelfraktion	0,5	34,4	34,9
	Organik	0,1	42,5	42,6
	Sonstige Kunststoffe	0,1	71,1	71,2
	Sonstige Verbunde	0,2	52,4	52,5
	Schuhe	0,4	50,8	51,2
Wertstofftonnen				
• Bioabfall	Organik	< 0,1	40,6	40,6
• Altpapier	PPK	1,4	34,3	35,7
• LVP	Kunststoffverpackungen	0,1	71,6	71,7
	Verbundverpackungen	0,3	46,3	46,6

Wertstofftonnen. Analoge Aussagen lassen sich für die Kohlenstoff-Gehalte der untersuchten ASG aus den Wertstofftonnen ziehen, bei denen bis auf PPK der anorganische Kohlenstoff nahezu vernachlässigbare Gehalte aufweist.

Die ermittelten Kohlenstoff-Gehalte in den Wertstofftonnen-ASG bestätigen weitgehend die Ergebnisse früherer Untersuchungen [5].

5.10.2.2 Chlor, Phosphor, Schwefel, Stickstoff

Die Gehalte an Chlor, Phosphor, Schwefel und Stickstoff sind in Tab. 17 dargestellt. Im Hinblick auf die thermische Abfallbehandlung sind besonders der Chlor- und Schwefelgehalt als Ursache für Korrosionserscheinungen und die Bildung von sauren Schadgasen sowie chlorierten Schadstoffen von Interesse. Die Werte für Phosphor und Stickstoff als weitere Massebildner dienen dem Erkenntnisgewinn.

Restmülltonne. Chlor liefert in allen untersuchten Analysestoffgruppen einen Beitrag von über 9 g/(kg TM) zur Gesamtmasse. Die höchsten Chlorgehalte wurden mit 22,3 und 20,2 g/(kg TM) in den ASG Sonstige Verbunde und Sonstige Kunststoffe ermittelt. Dies und die ermittelte hohe Schwankungsbreite der Einzelwerte deuten auf die Entsorgung chlorhaltiger Kunststoffe (z. B. PVC) hin. Phosphor und Schwefel tragen im einstelligen, Stickstoff im bis zu zweistelligen g/kg-Bereich zur Gesamtmasse der untersuchten ASG bei.

Tab. 17: Chlor-, Phosphor-, Schwefel- und Stickstoffgehalte der Analysestoffgruppen aus der Restmüll- und den Wertstofftonnen

Sammelsystem	Analysestoffgruppe	Chlor [mg/(kg TM)]	Phosphor [mg/(kg TM)]	Schwefel [mg/(kg TM)]	Stickstoff [mg/(kg TM)]
Restmülltonne	Feinfraktion	10.000	4.070	7.250	9.030
	Mittelfraktion	12.500	3.680	6.890	18.100
	Organik	14.000	3.510	3.290	27.000
	Sonstige Kunststoffe	20.200	571	1.380	4.750
	Sonstige Verbunde	22.300	572	3.010	9.120
	Schuhe	9.430	524	4.110	25.600
Wertstofftonnen					
• Bioabfall	Organik	10.700	3.340	2.930	21.500
• Altpapier	PPK	583	< 300	832	1.870
• LVP	Kunststoffverpackungen	3.050	302	780	2.610
	Verbundverpackungen	1.130	330	1.130	1.990

Wertstofftonnen. Die Obergruppe Organik zeigt im Bioabfall ähnliche Gehalte wie in der Restmülltonne und weist von den untersuchten Wertstofftonnen-ASG die höchsten Konzentrationen der 4 Elemente auf. Der Vergleich des Chlorgehalts der Kunststoffverpackungen aus dem Gelben Sack mit den Sonstigen Kunststoffen aus der Restmülltonne belegt, dass chlorhaltige Kunststoffe nicht als Verpackungsmaterial (z. B. für Lebensmittel) Verwendung finden.

5.10.2.3 Alkali- und Erdalkalimetalle

Von den Alkali- und Erdalkalimetallen wurden die Gehalte von Calcium, Kalium, Magnesium und Natrium im Restmüll und in den getrennt erfassten Wertstoffen ermittelt (vergleiche Tab. 18).

Restmülltonne. Die höchsten Werte an Calcium, Kalium und Magnesium liefert die Analysestoffgruppe Feinfraktion. Natrium dagegen liegt in größeren Mengen nur in der ASG Schuhe vor. Von den 4 Elementen tragen vor allem Calcium und Kalium zur Gesamtmasse bei. Die ermittelten Gehalte decken sich weitgehend mit den Restmüllgehalten früherer Analysen [1, 13].

Tab. 18: Calcium-, Kalium-, Magnesium- und Natriumgehalte der Analysestoffgruppen aus der Restmüll- und den Wertstofftonnen

Sammelsystem	Analysestoffgruppe	Calcium [mg/(kg TM)]	Kalium [mg/(kg TM)]	Magnesium [mg/(kg TM)]	Natrium [mg/(kg TM)]
Restmülltonne	Feinfraktion	109.000	28.700	15.000	4.910
	Mittelfraktion	42.300	14.400	5.910	8.400
	Organik	13.400	11.600	2.710	9.130
	Sonstige Kunststoffe	17.800	< 1.600	2.610	2.210
	Sonstige Verbunde	21.700	1.730	3.020	2.090
	Schuhe	50.100	3.150	5.510	10.800
Wertstofftonnen					
• Bioabfall	Organik	16.500	17.500	3.100	5.960
• Altpapier	PPK	67.000	1.780	2.050	< 2.000
• LVP	Kunststoffverpackungen	13.100	< 1.600	< 2.000	< 2.000
	Verbundverpackungen	24.200	< 1.600	< 2.000	< 2.000

Wertstofftonnen. Der vergleichsweise erhöhte Calciumgehalt in der ASG PPK aus dem Altpapier resultiert aus der Zugabe von Calciumcarbonat als Füllstoff und Streichpigment bei der Papierherstellung und trifft in abgeschwächter Form auch auf die Verbund- und Kunststoffverpackungen zu (Kaschierung, Aufkleber auf Papierbasis etc.). Die Gehalte der 4 Elemente bei der ASG Organik liegen in derselben Größenordnung wie die entsprechenden Werte für die ASG Organik aus der Restmülltonne.

5.10.3 Schwermetalle

An Schwermetallen wurden mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) die Elemente Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Mangan, Nickel, Zink und Zinn bestimmt. In Tab. 19 sind die ermittelten Schwermetallkonzentrationen in den untersuchten Analysestoffgruppen dargestellt.

Restmülltonne. Unter der Annahme, dass die aktuellen Untersuchungsergebnisse anhand von 6 Proben je ausgewählte Analysestoffgruppe einigermaßen repräsentativ sind, ist in allen untersuchten ASG bei Blei (maximal –84 %) als auch bei Kupfer (maximal –76 %) eine deutlich ausgeprägte rückläufige Tendenz der Analysenwerte festzustellen (Vergleichsbasis: Daten in [1, 13]). Für das Element Chrom (maximal –87 %) gilt bis auf die ASG Mittelfraktion und Organik (in etwa gleicher Größenordnung) eine ähnliche Aussage. Kein rückläufiger Trend liegt bei Zink in der Feinfraktion (+ 28 %) vor, ein Hinweis auf den verstärkten Einsatz von Zink als Korrosionsschutz etc. Bei den Werten für Mangan ist in allen ASG (Ausnahme: Sonstige Verbunde) ein deutlicher Anstieg festzustellen, während die Werte für Nickel und Zinn in etwa gleich geblieben sind und in der Regel im zweistelligen mg/kg-Bereich liegen.

Wertstofftonnen. Im Vergleich zu den ASG der Restmülltonne liegen die Schwermetallwerte in den ASG der Wertstofftonnen signifikant niedriger. Dies deutet darauf hin, dass mit der Getrenntsammlung auch eine Schadstoffentfrachtung einhergeht. Ein Vergleich hinsichtlich der Elemente Blei, Chrom und Zink mit einer früheren Untersuchung [5] belegt, dass die Analysenwerte in etwa gleich und damit belastbar sind.

Tab. 19: Blei-, Cadmium-, Chrom-, Kupfer-, Mangan-, Nickel-, Zink- und Zinngehalte der Analysestoffgruppen aus der Restmüll- und den Wertstofftonnen

Sammelsystem	Analysestoffgruppe	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer
		[mg/(kg TM)]	[mg/(kg TM)]	[mg/(kg TM)]	[mg/(kg TM)]
Restmülltonne	Feinfraktion	59	6	165	133
	Mittelfraktion	24	6	117	72
	Organik	< 10	< 5	29	15
	Sonstige Kunststoffe	76	40	45	32
	Sonstige Verbunde	174	6	2.020	200
	Schuhe	246	< 5	3.240	22
Wertstofftonnen					
• Bioabfall	Organik	< 10	< 5	21	13
• Altpapier	PPK	14	< 5	22	65
• LVP	Kunststoffverpackungen	< 10	< 5	35	47
	Verbundverpackungen	< 10	< 5	22	56

Tab. 19 (Forts.): Blei-, Cadmium-, Chrom-, Kupfer-, Mangan-, Nickel-, Zink- und Zinngehalte der Analysestoffgruppen aus der Restmüll- und den Wertstofftonnen

Sammelsystem	Analysestoffgruppe	Mangan	Nickel	Zink	Zinn
		[mg/(kg TM)]	[mg/(kg TM)]	[mg/(kg TM)]	[mg/(kg TM)]
Restmülltonne	Feinfraktion	3.060	66	477	22
	Mittelfraktion	407	52	260	17
	Organik	156	18	75	23
	Sonstige Kunststoffe	< 150	31	308	56
	Sonstige Verbunde	167	50	1.590	58
	Schuhe	212	18	1.310	33
Wertstofftonnen					
• Bioabfall	Organik	196	18	81	21
• Altpapier	PPK	< 150	17	35	24
• LVP	Kunststoffverpackungen	< 150	24	260	35
	Verbundverpackungen	< 150	20	41	47

5.10.4 Gasbildungspotenzial

Das Gasbildungspotenzial der Bioabfallproben aus den Sommer- und Wintersortierkampagnen in den Landkreisen L24, L25 und L26 ist in Tab. 20 dargestellt. Wie in Abschnitt 4.4.3 beschrieben, wurden dazu die Mittel- und Grobfraktion des Bioabfalls beprobt.

Tab. 20: Biogasertrag von Mittel- (MF) und Grobfraktion (GF) des Bioabfalls in den drei untersuchten Gebietskörperschaften L24, L25 und L26; FS: Frischsubstanz

Sortierkampagne	Einheit	Landkreis L24		Landkreis L25		Landkreis L26	
		MF	GF	MF	GF	MF	GF
Biogasertrag	SO	103	140	120	134	141	131
	WI	86,8	136	155	149	156	191
Methanertrag	SO	61,5	85,4	73,2	84,7	87,8	78,9
	WI	51,4	79,7	92,5	94,6	95,5	118,1
Methananteil	SO	59,7	61,0	60,8	63,2	62,3	60,1
	WI	59,2	58,4	59,7	63,7	61,3	61,8

Die spezifischen Biogaserträge erreichen teilweise Werte oberhalb des Wertebereichs von kommunalen Bioabfällen, der nach [62] zwischen 80 bis 120 ml/(g FS) liegt. Das heißt, trotz der gegenüber den Landkreisen L24 und L26 längeren Standzeit der Biotonne im Landkreis L25 hat sich das energetische Potenzial in den Bioabfällen nicht deutlich verringert. Der Unterschied in den Daten zwischen Sommer- und Winterkampagne ist sicherlich abhängig von der genommenen Zufallsprobe. Der Trend, dass niedrigere Umgebungstemperaturen den Abbauprozess der Bioabfälle verlangsamen, wird in der Mehrzahl der Daten zu den Biogaserträgen deutlich. Analoge Aussagen gelten für den Ertrag an Methanogas, dessen Volumenanteil relativ konstant bei rund 60 % liegt.

6 Zusammenfassung

In dem vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz geförderten Projekt „Restmüll und getrennt erfasste Wertstoffe aus Haushalten in Gebietskörperschaften mit Ident-System“ wurden in drei bayerischen Landkreisen mit Ident-System Restmüll- und Wertstoffsortieranaylsen durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es, die Datengrundlage zur Beurteilung des Abfallaufkommens und dessen Zusammensetzung, insbesondere der Wertstoffqualität, in Bayern in Bezug auf Ident-Systeme auszubauen. Dazu wurden der Restmüll sowie die in Hol- und Bringsystemen separat erfassten Wertstoffe (Bioabfall, PPK, LVP, Behälterglas, Metalle) aus Privathaushalten (ohne Sperrmüll und die auf Wertstoffhöfen entsorgten Abfälle) untersucht. Vergleichbare Abfallsortieranaylsen des Restmülltonneninhalts führt das BayLfU seit dem Jahr 1998 durch. Ab dem Jahr 2010 wurden die Restmülluntersuchungen auf die separat erfassten Wertstoffe ausgedehnt.

Die Vorgehensweise beruht auf der Brandenburg-Richtlinie, wobei eine Sortieranaylse in einer Gebietskörperschaft aus zwei (Sommer- und Wintersortierung) anstelle von 4 Sortierkampagnen bestand. Um extrem lange Behälterstandzeiten (Restmüll, Bioabfall) im Landkreis L25 abzubilden, wurde die Auswerteroutine entsprechend angepasst. Die Untersuchungen in Gebietskörperschaften der Strukturklasse (Maß für die Zahl der Einwohner pro Fläche) ländlich (2×) und ländlich dicht (1×) fanden in den Jahren 2013 und 2014 statt. Jede Sortierkampagne nahm drei Wochen in Anspruch. Für die Stichprobenahme (Restmüll-, Wertstofftonnen, Sammelcontainer) wurden die Untersuchungsgebiete in die Gebietsstrukturen *Ländlich*, *Städtisch* und *Innerstädtisch* unterteilt; damit wurde der Bauungsstruktur und Siedlungsdichte Rechnung getragen. Restmüll, Bioabfall und LVP wurden mit einer BayLfU-eigenen mobilen Abfallsortieranaylse maschinell (Siebfraktionen 10/40 mm), PPK mittels Handsieb (40 mm) klassiert. Die Grobfraktionen (> 40 mm) wurden manuell entsprechend dem Sortierkatalog für Restmüll in über 40 Fraktionen aufgetrennt. Dies erlaubt Aussagen über die Verteilung von Sortierfraktionen auf Restmülltonne und Wertstoffsammelgefäße und damit über das Trennverhalten der Bürger.

Die drei Landkreise verfügen über ein so genanntes „Drei-Tonnen-Holsystem“ für die Wertstoffe Bioabfall, PPK und LVP sowie ein Bringsystem für Glas. Metalle werden in zwei Landkreisen mittels eines Bringsystems separat erfasst. Die Abfallgebühren setzen sich aus einer Grund- und Leistungsgebühr zusammen. Die Leistungsgebühr richtet sich nach der Anzahl der Leerungen oder der zu entsorgenden Abfallmasse. Insgesamt sind die Gebührensysteine der drei Landkreise schwer vergleichbar.

Die Betrachtung des spezifischen Abfallaufkommens (pro Einwohner und Jahr) [28, S. 94] in Bayern über die letzten 25 Jahre hinweg zeigt, dass das Aufkommen insgesamt in etwa konstant bei 500 kg/(E · a) verharrt. Das Restmüllaufkommen hat dabei deutlich abgenommen, während sich das absolute Aufkommen an getrennt erfassten Wertstoffen in gleichem Maß erhöht hat. Aufgrund dieser Tatsache ist davon auszugehen, dass Ident-Systeme das Abfallaufkommen vom Restmüll weg und hin zu den getrennt erfassten Wertstoffen verlagern, ohne das Abfallaufkommen insgesamt signifikant zu verändern.

Hinsichtlich des Abfallaufkommens und der -zusammensetzung wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Sammelsystem Restmülltonne (Holsystem). Ident-Systeme beeinflussen die Höhe des Restmüllaufkommens maßgeblich. Dabei sind die Restmüllmassen in den Landkreisen L25 und L26 mit einem gewichtsabhängigen Gebührensysteine deutlich niedriger als im Landkreis L24 (leerungsbezogenes Gebührensysteine). Zwei Drittel des Gesamtaufkommens machen in allen drei Landkreisen die Fein- und Mittelfraktion sowie die Obergruppen Organik und Hygieneprodukte aus. Im Vergleich zum bayernweiten Durchschnitt liegen die Anteile der Organik-Fraktion um maximal 9 Mass.-% darunter, während die Anteile an Hygieneprodukten um maximal 11 Mass.-% darüber liegen.

Das Wertstoffpotenzial im Restmüll ist vor allem in den Landkreisen L25 und L26 mit gewichtsabhängiger Gebühr mit Anteilen von 55,4 und 48,8 Mass.-% vergleichsweise niedrig und liegt um circa 10 Mass.-% unter den entsprechenden Vergleichswerten früherer Untersuchungen [1, 5, 13].

Sammelsystem Wertstofftonnen (Holsystem).

- **Bioabfall.** Das Bioabfallaufkommen unterscheidet sich in den untersuchten Gebietskörperschaften sehr stark. In den Landkreisen L24 und L26 liegt es über, im Landkreis L25 unter dem Restmüllaufkommen der jeweiligen Gebietskörperschaft. Insgesamt sind 97,3 bis 98,7 Mass.-% des Biotonneninhalts verwertbar (Fein-, Mittelfraktion, Organik, Küchenpapiere, PPK). Die restlichen 1,3 bis 2,7 Mass.-% sind Störstoffe, wovon den größten Anteil in der Regel die Kunststoffe ausmachen. Unabhängig von der Gebietsstruktur überwiegen im Landkreis L24 die Anteile an Gartenabfällen die der Küchenabfälle, während es sich in den Landkreisen L25 und L26 umgekehrt verhält.
- **Papier.** Das PPK-Aufkommen liegt in den drei Landkreisen zwischen 46,0 und 76,9 kg/(E · a) und somit unter dem bayerischen Durchschnitt von 80,5 kg/(E · a) [28, S. 26]. PPK werden hauptsächlich über die Papiertonne erfasst, circa 96 Mass.-% über das Wertstoffholsystem abgeschöpft. Durchschnittlich sind 95,3 Mass.-% des Papiertonneninhalts systemkonforme Bestandteile, die restlichen 4,7 Mass.-% sind Störstoffe (vor allem Hygieneprodukte und Verbunde, die zwei Drittel des Störstoffanteils ausmachen).
- **Leichtverpackungen.** Das LVP-Aufkommen in den Landkreisen L24 und L25 beträgt 18,3 und 22,2 kg/(E · a) und liegt auf gleicher Höhe wie das durchschnittliche Aufkommen in ländlichen oder ländlich dichten Gebieten in Bayern [28, S. 33]. Der Störstoffanteil bei den LVP ist in den Landkreisen L25 und L26 (gewichtsabhängiges Gebührensystem) mit 32,5 und 36,0 Mass.-% deutlich höher als im Landkreis L24 mit 28,9 Mass.-% (leerungsbezogenes Gebührensystem). Mit diesem hohen Störstoffanteil schneidet der Gelbe Sack gegenüber den anderen Wertstoffeffassungssystemen am schlechtesten ab. Die höheren Störstoffanteile in den Landkreisen L25 und L26 könnten auf die Verwiegung des Restmülls zurückzuführen sein und darauf hindeuten, dass mehr Abfälle über den kostenfreien Gelben Sack entsorgt werden. Häufigste Störstoffe sind Sonstige Folien, stoffgleiche Nichtverpackungen, PPK, Organik und Sonstige Verbunde.

Sammelsystem Wertstoffcontainer (Bringsystem).

- **Glas.** Weißglas weist von allen Behälterglasfarben den geringsten Fehlfarbenanteil (0,9 bis 2,3 Mass.-%), jedoch den höchsten Störstoffanteil (4,1 bis 9,0 Mass.-%) auf. Grünglas besitzt den geringsten Anteil an Störstoffen (0,4 bis 1,3 Mass.-%) und Braunglas den höchsten Fehlfarbenanteil (15,1 bis 29,7 Mass.-%). Von den drei Gebietskörperschaften weist der Landkreis L24 bei Altglas den geringsten Störstoffanteil auf. Der höhere Störstoffanteil in den Landkreisen L25 und L26 könnte auf die Verwiegung des Restmülls zurückzuführen sein.
- **Metalle.** Der Störstoffanteil im Landkreis L24 (17,5 Mass.-%) liegt um 10 Prozentpunkte unter dem Störstoffanteil im Landkreis L25 (27,8 Mass.-%). Eine Ursache hierfür könnte das Ident-System mit Verwiegung des Restmülls und des Bioabfalls im Landkreis L25 sein, weshalb mehr Abfälle über die kostenfreien Wertstoffeffassungssysteme entsorgt werden. Zu den häufigsten Störstoffen zählen Glas, Organik und Verbunde.

Die Abfallanalytik diene dazu, die Hauptbestandteile des Restmülls und der separat erfassten Wertstoffe (Bioabfall, Papier, Leichtverpackungen) anhand der Analysestoffgruppen (Restmüll: Fein-, Mittelfraktion, Organik; Wertstoffe: Organik, PPK, Kunststoff-, Verbundverpackungen) zu charakterisieren. Der Vergleich mit früheren Ergebnissen der entsprechenden Analysestoffgruppen zeigt:

- Die Ergebnisse früherer Untersuchungen hinsichtlich physikalisch-chemischer Summenparameter (Feuchte, Glühverlust, Heizwert) und Massebildner (Kohlenstoff, Chlor, Phosphor, Schwefel, Stickstoff etc.) haben sich größtenteils bestätigt.
- Die Schwermetallbelastung der untersuchten Analysestoffgruppen im Restmüll ist insbesondere für Blei und Kupfer rückläufig.
- Die Analysestoffgruppen der separat erfassten Wertstoffe sind deutlich niedriger mit Schwermetallen belastet als die entsprechenden ASG im Restmüll.
- Die Biogasvolumina der Mittel- und Grobfraktion des Bioabfalls erreichten Werte im oberen Bereich von kommunalen Bioabfällen und zeigten Methangehalte im typischen Wertebereich.

Fazit

Insbesondere die beiden Gebietskörperschaften mit Verwiegesystem besitzen in Bezug auf die untersuchten Abfallströme (Abfälle aus Privathaushalten ohne Betrachtung des Sperrmülls und der an den Wertstoffhöfen abgegebenen Abfälle zur Verwertung) ein im Vergleich zum bayerischen Durchschnitt niedriges Gesamtabfallaufkommen. Intensive Öffentlichkeitsarbeit und Abfallvermeidung aufgrund der Entsorgungsgebühren leisten hierzu sicher einen Beitrag, können aber dieses Phänomen nicht vollständig erklären.

Bei der separaten Erfassung der Wertstoffe sind künftig bei Vorhandensein entsprechender Wertstoffholsysteme in Bezug auf PPK und Leichtverpackungen nur mehr marginale Fortschritte zu erwarten.

Bei den separat erfassten Wertstoffen LVP, Glas und Metalle war die Wertstoffqualität in den beiden Gebietskörperschaften mit Verwiegesystem deutlich schlechter als in der Gebietskörperschaft ohne Verwiegung.

Inwieweit Abfälle in den untersuchten Gebietskörperschaften aufgrund des Ident-Systems illegal (z. B. Littering) oder nicht in den jedem Haushalt zur Verfügung stehenden Sammelbehältnissen entsorgt werden, war nicht Gegenstand der Untersuchung.

7 Literatur

- [1] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen. Abschlussbericht.
Augsburg, 2003, 76 S.
- [2] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Restmüllzusammensetzung in Phasing-Out-Gebieten (EU Ziel-2-Programm Bayern): Abschöpf-
bares Wertstoffpotenzial als Funktion abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Schlussbericht.
Augsburg, 2007, 69 S.
- [3] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Restmüllzusammensetzung, Einflussfaktoren, Abhängigkeit von lokalen abfallwirtschaftlichen
Rahmenbedingungen (EFRE-Ziel-2-Gebiete in Bayern). Endbericht zum Forschungsvorhaben.
Augsburg, 2008, 71 S.
- [4] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Untersuchung der Entsorgungswege neben der Restmülltonne am Beispiel Landkreis und Stadt
Schweinfurt. Anlage zum LfU-Schreiben an das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Ge-
sundheit und Verbraucherschutz vom 25.08.2008, Az. 33-8744.6-25008/2008.
Augsburg, 2008, 27 S.
- [5] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Nutzung des CO₂-Einsparpotenzials des Restmülls von Haushaltungen durch verbesserte Se-
kundärrohstoffabschöpfung.
Augsburg, 2014, 77 S.
- [6] LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG:
Richtlinie für die Durchführung von Untersuchungen zur Bestimmung der Menge und Zusam-
mensetzung fester Siedlungsabfälle im Land Brandenburg. Teil I.
In: Müll-Handbuch: Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung
und Verwertung von Abfällen, Band 2.
Hrsg.: Hösel, G.; Bilitewski, B.; Schenkel, W.; Schnurer, H.
Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1999. Kennzahl 1706, Lfg. 7/99, 24 S.
- [7] ANONYM:
Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts. Vom 24. Februar 2012.
Artikel 1: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen
Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG).
BGBl I (2012) 10, S. 212–264
- [8] ANONYM:
Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und sonstigen Bewirtschaftung von Abfällen in Bayern
(Bayerisches Abfallwirtschaftsgesetz – BayAbfG). Vom 9. August 1996.
GVBl. (1996) 18, S. 396–404
Zuletzt geändert durch Verordnung zur Anpassung des Landesrechts an die geltende Geschäfts-
verteilung vom 22. Juli 2014.
GVBl. (2014) 14, S. 286–337
- [9] REICHENBACH, J.:
Status and prospects of pay-as-you-throw in Europe – A review of pilot research an implementa-
tion studies.
Waste Management 28 (2008), S. 2809–2814

- [10] WEIGAND, H.; RIEDEL, H.; MARB, C.:
Restmüllsortierung: Ermittlung des Abfallaufkommens unter Berücksichtigung variabler Standzeiten bei Ident-Systemen.
Müll und Abfall 43 (2011) 6, S. 286–291
- [11] MARB, C; PRZYBILLA, I.; WEIGAND, H.:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen – Teil I: Methodischer Ansatz.
Müll und Abfall 37 (2005) 9, S. 472–479
- [12] WEIGAND, H.; MARB, C.:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen – Teil II: Restmüllzusammensetzung als Funktion von Siedlungsstruktur und Abfallwirtschaftssystem.
Müll und Abfall 37 (2005) 10, S. 522–530
- [13] WEIGAND, H.; MARB, C.:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen – Teil III: Physikalisch-chemische Eigenschaften und Schadstoffgehalte.
Müll und Abfall 38 (2006) 5, S. 236–246
- [14] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
LfU-Restmüllanalysen 1998 – 2008 Ergebnisse.
http://www.lfu.bayern.de/abfall/jvt/restmuellanalysen/doc/restmuell_zusammenfassung.ppt (Abruf am 11. April 2014)
- [15] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Sonderauswertung zur Abfallbilanz 2010 – Gebührensysteme und Abfallerfassung.
Augsburg, 2011, 15 S.
- [16] PUIG-VENTOSA, I.:
Charging systems and PAYT experiences for waste management in Spain.
Waste Management 28 (2008), S. 2767–2771
- [17] BROWN, Z.S.; JOHNSTONE, N.:
Better the devil you throw: Experience and support for pay-as-you-throw waste charges.
Environmental Science & Policy 38 (2014), S. 132–142
- [18] BILITEWSKI, B.:
From traditional to modern fee systems.
Waste Management 28 (2008), S. 2760–2766
- [19] GEIßER, A.; KÜGLER, T.:
Abfall vermeiden – Gebühren sparen? Möglichkeiten verursachergerechter Abfallgebühren.
Müll und Abfall 36 (2004) 10, S. 476–481
- [20] EINZMANN, U.; TURK, T.; FRICKE, K.:
Lenkungsfunktion der Abfall- und Abfallgebührensatzung.
Müll und Abfall 33 (2001) 8, S. 473–479
- [21] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT:
Greening Household Behaviour: The Role of Public Policy.
OECD Publishing, März 2011, 192 S.
<http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/9789264096875-sum-de.pdf?expires=1421918508&id=id&accname=guest&checksum=7BC0482EF79D40D1AA742CEA31FBD202>

- [22] BAYERISCHER LANDTAG:
Antwort des Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit vom 12.07.2013 auf die schriftliche Anfrage des Abgeordneten Dr. Hans Jürgen Fahn, Freie Wähler, vom 17.05.2013 zum Thema „Kommunale Abfallwirtschaft in Unterfranken“.
Drucksache 16/18207 vom 21.08.2013, München, 1 S.
- [23] BAYERISCHER LANDTAG:
Antwort des Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit vom 12.07.2013 auf die schriftliche Anfrage des Abgeordneten Dr. Hans Jürgen Fahn, Freie Wähler, vom 17.05.2013 zum Thema „Müllverwiegung in bayerischen Landkreisen“.
Drucksache 16/18208 vom 21.08.2013, München, 1 S.
- [24] HOEB, P.; MATINGEN, A.; BERTHOLD, E.; WEIKERT, R.:
Entwicklung illegaler Ablagerungen bei Einführung eines Identifizierungssystems – Eine Fallstudie im Landkreis Kitzingen.
Müll und Abfall 46 (2014) 9, S. 482–488
- [25] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Öffentliche Ausschreibung nach VOL/A.
Deutsche eVergabe (2012):
<http://root.deutscheevergabe.de/Portal/default.aspx?Portal=BAYERN&XCROSS=I&VG=V&CrossResult=E3D9907E-BB52-4DDA-A8A3-0B79DC4F40E1> (Abruf am 17. Januar 2013)
- [26] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V.:
Papier, Karton und Pappe – Europäische Liste der Altpapier-Standardsorten;
Deutsche Fassung EN 643:2014.
Beuth-Verlag, Berlin; 2014, 21 S.
- [27] DER GRÜNE PUNKT – DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND GMBH (HRSG.):
Wir machen mehr draus. DSD-Verpackungsrecycling: Hochwertig. Marktgerecht. Nachhaltig.
Stand: August 2007.
Verlag Hermann Bösmann GmbH, Detmold, 2007
- [28] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Hausmüll in Bayern – Bilanzen 2013.
Augsburg, 2014, 100 S.
- [29] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK:
Meine Gemeinde/Stadt in Statistik kommunal.
<https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/00174.php> (Abruf am 14. Januar 2015)
- [30] BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG:
Haushalte nach Zahl der Personen.
<http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61587/haushalte-nach-zahl-der-personen> (Abruf am 08. Mai 2014)
- [31] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL [HRSG.]:
LAGA PN 98. Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Stand: Dezember 2001. In der Fassung vom Juli 2004.
Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 32.
Mainz, 2004, 67 S.

- [32] ANONYM:
DIN 38414-22:
Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Teil 22: Bestimmung des Gefriertrockenrückstandes und Herstellung der Gefriertrocknungsmasse des Schlammes.
Beuth Verlag, Berlin, September 2000, S. 22
- [33] ANONYM:
DIN EN 15169:
Charakterisierung von Abfall – Bestimmung des Glühverlustes in Abfall, Schlamm und Sedimenten.
Beuth Verlag, Berlin, Mai 2007, 14 S.
- [34] ANONYM:
DIN 51900-1:
Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe – Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes – Teil 1: Allgemeine Angaben, Grundgeräte, Grundverfahren.
Beuth Verlag, Berlin, April 2000, 20 S.
- [35] ANONYM:
DIN 51900-1:
Berichtigung 1 – Berichtigungen zu DIN 51900-1:2000-04.
Beuth Verlag, Berlin, Februar 2004, 2 S.
- [36] ANONYM:
DIN EN 13137:
Charakterisierung von Abfall – Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) in Abfall, Schlämmen und Sedimenten.
Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2001, 16 S.
- [37] ANONYM:
DIN 38414 S8:
Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Bestimmung des Faulverhaltens (S8).
Beuth Verlag, Berlin, Juni 1985, 12 S.
- [38] KRANERT, M., BIDLINGMAIER, W.:
Geschäftsmüll. Abfallwirtschaftliche Bedeutung, Menge, Zusammensetzung und Einflussgrößen., Bd. 6., Reihe Manuskripte zur Abfallwirtschaft.
Rhombos-Verlag, Berlin, 2004, 236 S.
- [39] QUICKER, P.; FOJTIK, F.; FAULSTICH, M.:
Verfahren zur Quantifizierung von Geschäftsmüll.
Müll und Abfall 38 (2006) 10, S. 512–518
- [40] KRANERT, M.:
Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland – Kurzfassung.
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/WvL/Studie_Lebensmittelabfaelle_Langfassung.pdf?__blob=publicationFile (Abruf am 18. Juli 2014)
- [41] VAAK, F.; GÄTH, S.:
Lebensmittel im Restabfall – Untersuchung des biogenen Anteils in Restmüllcontainern von Privathaushalten.
Fraunhofer-Projektgruppe IWKS, Alzenau, 2013, 4 S.

- [42] ANONYM:
DIN EN 13432: Verpackung – Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau – Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen.
Beuth Verlag, Berlin, 2000, 18 S.
- [43] ANONYM:
DIN EN 13432 Berichtigung 2: Verpackung – Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau – Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen.
Beuth Verlag, Berlin, 2007, 2. S.
- [44] ANONYM:
DIN EN 14995: Kunststoffe – Bewertung der Kompostierbarkeit – Prüfschema und Spezifikationen.
Beuth Verlag, Berlin, 2007, 20 S.
- [45] BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E.V.:
Position der BGK zu „Biokunststoffen“.
Humus & Kompost aktuell 4 (2014) 2, S. 1–12
- [46] CHRYSOS, G.:
Herausforderung für die Zukunft: Neuer Sicherheitsstandard für die Entsorgung von Altbatterien.
Müll und Abfall 46 (2014) 2, S. 64–70
- [47] RICHTLINIE 2013/56/EU:
Richtlinie des europäischen Parlamentes und des Rates vom 20. November 2013 zur Änderung der Richtlinie 2006/66/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren hinsichtlich des Inverkehrbringens von Cadmium enthaltenden Gerätebatterien und –Akkumulatoren, die zur Verwendung in schnurlosen Elektrowerkzeugen bestimmt sind, und von Knopfzellen mit geringem Quecksilbergehalt sowie zur Aufhebung der Entscheidung 2009/603/EG der Kommission.
Stand: 20.11.2013.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:329:0005:0009:DE:PDF>
(Abruf am 14. Oktober 2014)
- [48] ANONYM:
Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegesetz – BattG). Vom 25. Juni 2009.
BGBl. I (2009) 36, S. 1582–1591
Zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes zur Umsetzung der Dienstleistungsrichtlinie auf dem Gebiet des Umweltrechts sowie zur Änderung umweltrechtlicher Vorschriften. Vom 11. August 2010.
BGBl. I (2010) 43, S. 1163–1169
- [49] KOHLMAYER, R.; RECKNAGEL, S.:
Quecksilber-, Cadmium- und Bleigehalte in Gerätebatterien im Lichte der rechtlichen Entwicklungen.
Müll und Abfall 46 (2014) 4, S. 216–223

- [50] STIFTUNG GEMEINSAMES RÜCKNAHMESYSTEM BATTERIEN (GRS):
Erfolgskontrolle 2013 gemäß § 15 (1) Batteriegesetz.
Stand: 05.03.2013
http://www.grs-batterien.de/fileadmin/user_upload/Download/GRS-1-14-0104-01_Erfolgskontrolle_2013_DE_297x210_web2.pdf (Abruf am 17. September 2014)
- [51] THULLNER, I.; BUCHWALD, K.-E.; WEGSCHEIDER, W.; HOHENBERGER, L.:
Quecksilberemissionen bei der Sammlung und Entsorgung von Leuchtmitteln.
Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 73 (2013) 1–2, S. 14–24
- [52] RICHTLINIE 2011/65/EU:
Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.
Stand: 08.06.2011
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:DE:PDF> (Abruf am 17. Oktober 2014)
- [53] UMWELTBUNDESAMT:
Energiesparlampen in der Diskussion.
Stand: August 2011
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3964.pdf> (Abruf am 18. September 2014)
- [54] BREHM, C.:
Erfolgsmodell für Elektro-Altgeräte – Wie Lightcycle die Rücknahme von Altlampen in Deutschland voranbringt.
Müll und Abfall 45 (2013) 8, S. 412–416
- [55] LIGHTCYCLE RETOURLOGISTIK UND SERVICE GMBH:
München
<http://www.lightcycle.de/index.php> (Abruf am 21. Oktober 2014)
- [56] DEVRIES, J.:
IZMF Handystudie – Studie zur Nutzung/Verwertung von Handys/Smartphones.
Stand: 20.11.2013
http://www.izmf.de/sites/default/files/download/IZMF_Handystudie_Bericht.pdf (Abruf am 21. Oktober 2014)
- [57] FRICK, F.:
Schatzsuche im Elektronikschrott.
EU-Recycling 9 (2013), S. 24–25
- [58] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Übersendung der Studie „Kritische Rohstoffe in Althandys – Probenaufbereitung und Wertstoffgehalte“ an das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit mit Schreiben vom 23.11.2012, Az. 33-8740.3-53602/2012.
Augsburg, 2012, 1 S. und 31 S. (Bericht)
- [59] BITKOM:
83 Millionen Althandys.
Stand: 30.12.2011
http://www.bitkom.org/de/presse/70864_70811.aspx (Abruf am 16. September 2014)

-
- [60] ELEKTRO- UND ELEKTRONIKGERÄTEGESETZ – ELEKTROG:
Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von
Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG)
Stand: 20.09.2013
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/elektrog/gesamt.pdf> (Abruf am 17. Oktober 2014)
- [61] OVERATH, J.:
Nicht alles passt ins Altglas. Verbraucherkampagne zum richtigen Glasrecycling.
Müll und Abfall 47 (2015) 2, S. 90–91
- [62] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V.:
Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung.
Gülzow, 2006, 232 S.

8 Anhang

Erweiterte Obergruppe „Glas“ des Sortierkatalogs.

Stoffgruppe	Restmüll	Getrennt erfasste Wertstoffe					Beispiele Stoffgruppe
		Glas	Bioabfall	LVP	Metalle	PPK	
Obergruppe							
Untergruppe							
Sortierung							
Glas							
Behälterglas weiß		x					Ein- und Mehrwegflaschen, Konservengläser, Glasbruch
Behälterglas grün/blau		x					Ein- und Mehrwegflaschen, Glasbruch, Parfümflaschen
Behälterglas braun		x					Ein- und Mehrwegflaschen, Glasbruch, Pulvergläser
Sonstiges Glas		x					Fensterglas, Spiegelglas, Trinkgläser

Erweiterte Obergruppe „Papier, Pappe, Kartonagen“ des Sortierkatalogs.

Stoffgruppe	Restmüll	Getrennt erfasste Wertstoffe					Beispiele Stoffgruppe
		Glas	Bioabfall	LVP	Metalle	PPK	
Obergruppe							
Untergruppe							
Sortierung							
Papier, Pappe, Kartonagen							
Druckerzeugnisse + Papier groß						x	Zeitungen, Zeitschriften, Prospekte, Bücher mit Weicheinband, Schreib- und Zeichenpapier, Drucker- und Kopierpapier
Bücher mit Harteinband						x	Bücher mit Harteinband
Kleinpapier						x	Kassenzettel, Briefumschläge, zerrissenes Papier, Aktenvernichtungsmaterial
Papier-Verpackungen						x	
Sonstiges Papier						x	Geschenkpapier, Backpapier
Unerwünschte Stoffe aus Papier						x	Durchgefärbtes Papier, Blaupausenpapier, Kohlepapier, Fax-Papier, Butterbrotpapier, Transparentpapier, Träger der Klebeetiketten
Karton-Verpackungen						x	Kartonverpackungen, Küchen-/Toilettenpapierpapprollen, Einweggeschirr aus Pappe, Kartons mit Sichtfenster
Sonstige Kartonagen						x	Stehsammler, Pappordner (Aktenordner ohne Metallteile)

Fußnoten zu Tabelle A-1

- 1) Für den getrennt erfassten Wertstoff Glas wurde die Obergruppe „Glas“ (gelb hinterlegte Felder) im Sortierkatalog erweitert (siehe Erweiterte Obergruppe „Glas“ des Sortierkatalogs).
- 2) In den Landkreisen L24 und L25 werden Metalle neben dem Gelben Sack über Wertstoffinseln erfasst. Dementsprechend wurde diese Abfallfraktion ebenfalls nach den Kriterien des Sortierkatalogs sortiert.
- 3) Für den getrennt erfassten Wertstoff PPK wurde die Obergruppe „Papier, Pappe, Kartonagen“ (blau hinterlegte Felder) im Sortierkatalog erweitert (siehe Erweiterte Obergruppe „Papier, Pappe, Kartonagen“ des Sortierkatalogs).
- 4) Beim Wertstoff PPK erfolgte eine Klassierung in Fein-/Mittelfraktion (≤ 40 mm) und Grobfraktion (> 40 mm).

Tab. A-1: Sortierkatalog mit Obergruppen und Beispielen für die untersuchten Abfallarten.

Stoffgruppe	Restmüll	Getrennt erfasste Wertstoffe					Beispiele Stoffgruppe
		Glas ¹⁾	Bioabfall	LVP	Metal ²⁾	PPK ³⁾	
Obergruppe							
Untergruppe							
Klassierung							
Feinfraktion	x	-	x	x	-	x ⁴⁾	≤ 10 mm
Mittelfraktion	x	-	x	x	-		10–40 mm
Sortierung							
Glas							
Behälterglas	x		x	x	x	x	Einweg-Flaschen, Konservengläser, Glasbruch, Parfümflaschen
Sonstiges Glas	x		x	x	x	x	Fensterglas, Spiegelglas, Trinkgläser
Holz							
Holzverpackungen	x	x	x	x	x	x	Holzkisten-Bruchstücke, Obstkisten, Zigarrenkisten
Sonstiges Holz	x	x	x	x	x	x	Bretter, Spanplatten, lackiertes und furniertes Holz
Hygieneprodukte							
Windeln	x	x	x	x	x	x	Windeln, Binden
Hygienepapiere	x	x	x	x	x	x	Papierstaschentücher, Küchentücher, Papierservietten
Inertes							
Inertes außer Glas	x	x	x	x	x	x	Steine, Porzellan, Keramik, Eternit, Gips, Gipsplatten
Inertverpackungen	x	x	x	x	x	x	Steingutfaschen u. ä.
Kunststoffe							
Kunststoffverpackungen	x	x	x	x	x	x	Jogurt-, Margarinebecher; Flaschen f. Körperpflege-, Reinigungsmittel
Kunststofffolien (Verp.)	x	x	x	x	x	x	Tüten, Tragetaschen, Einschweißfolien, > DIN A4
Kunststofffolien (Verp.) als Müllbeutel genutzt	x	x	x	x	x	x	Tüten, Tragetaschen
Sonstige Folien	x	x	x	x	x	x	Gefrierbeutel, Abdeckfolien, Landwirtschaftsfolien
Müllbeutel	x	x	x	x	x	x	Müllbeutel
Styropor	x	x	x	x	x	x	Styropor-Formteile, geschäumte Verpackungen
Sonstige Kunststoffartikel	x	x	x	x	x	x	Plastikspielzeug, Tischdecken, Blumentöpfe, Haushaltseimer
Metalle							
Fe-Metallverpackungen	x	x	x	x	x	x	Konserven-/Getränkedosen, leere Farb-/Spraydosen, Kronkorken
NE-Metallverpackungen	x	x	x	x	x	x	Alu-Folie/-Deckel, Konserven-/Getränkedosen, leere Spraydosen
Sonstige Metallteile	x	x	x	x	x	x	Werkzeug, Nägel, Drähte, Bleche
Organik							
Küchenabfälle	x	x	x	x	x	x	Essensreste, Obst- und Gemüseabfälle
Original verpackte Lebensmittel	x	x	x	x	x	x	Volle Verpackungen mit Lebensmittel
Gartenabfälle	x	x	x	x	x	x	Gras, Strauch- und Astschnitt, Pflanzen, Schnittblumen
Tierkadaver	x	x	x	x	x	x	Kadaver ab Mausgröße
Sonstige org. Stoffe	x	x	x	x	x	x	Hanfseile, Federn, Haare
Papier, Pappe, Kartonagen							
PPK-Verpackungen	x	x	x	x	x		Papiertüten, Tragetaschen aus Papier, Pappschachteln, Karton
PPK-Druckerzeugnisse	x	x	x	x	x		Zeitungen, Zeitschriften, Bücher, Prospekte, Schreibpapier
Sonstige PPK	x	x	x	x	x		Pappordner, Geschenkpapier, Papiermöbel, Backpapier
Textilien							
Bekleidungstextilien	x	x	x	x	x	x	Kleidung jeglicher Art
Sonstige Textilien	x	x	x	x	x	x	Gardinen, Tischdecken, Teppiche (ohne Teppichböden), Putzlappen
Schuhe	x	x	x	x	x	x	Schuhe jeglicher Art außer Gummistiefel
Verbunde							
Verbundverpackungen	x	x	x	x	x	x	Getränkkarton, Take away food, Blister, Zigarettenschachteln
Elektronikschrott	x	x	x	x	x	x	Kabel, Platinen, Computerteile, Rasierer, Fön, Radiowecker
Mobiltelefone	x	x	x	x	x	x	
Renovierungsabfälle	x	x	x	x	x	x	NUR: Teppichböden, gebrauchte Tapeten, Dachpappe
Fahrzeugteile	x	x	x	x	x	x	Felgen, Zündkerzen, Scheibenwischer
Staubsaugerbeutel	x	x	x	x	x	x	
Sonstige Verbunde	x	x	x	x	x	x	Taschen, Einwegfeuerzeuge, Glühbirnen, CDs, laminiertes Papier
Problemabfall							
Sonderabfall	x	x	x	x	x	x	Chemikalien, volle Spritzen, Leuchtstoffröhren
Batterien	x	x	x	x	x	x	Haushaltsbatterien, Akkus, Autobatterien
Energiesparlampen	x	x	x	x	x	x	Leuchtstoffröhren, Energiesparlampen
Medikamente	x	x	x	x	x	x	Tabletten, Tropfen ohne Umverpackung

Tab. A-1 (Forts.): Sortierkatalog mit Obergruppen und Beispielen für die untersuchten Abfallarten.

Stoffgruppe	Restmüll	Getrennt erfasste Wertstoffe					Beispiele Stoffgruppe
Obergruppe		Glas ¹⁾	Bioabfall	LVP	Metal ²⁾	PPK ³⁾	
Untergruppe							
Sortierung							
Sonstige Abfallarten							
Leder	x	x	x	x	x	x	Ledertaschen und -gürtel, Lederreste
Gummi	x	x	x	x	x	x	Gummihandschuhe, Gummistiefel, Gummimatten
Kork	x	x	x	x	x	x	Flaschenkork, Bodenbeläge aus Kork
Sonstige Stoffe	x	x	x	x	x	x	Kerzen, gefüllte Katheter, Katzenstreu verklumpt

Tab. A-2: Analysenstoffgruppen (in alphabetischer Reihenfolge) mit zugehörigen Sortierfraktionen.

Analysenstoffgruppe (ASG)	Stoffgruppe / Sortierfraktion
Elektronikschrott	Elektronikschrott
Feinfraktion	Feinfraktion
Glas	Behälterglas (weiß, grün, braun)
Holz	Holzverpackungen sonstiges Holz
Hygieneprodukte	Hygienepapiere Windeln
Inertes	Inertes Inert-Verpackungen
Kunststoffverpackungen inklusive Folien	Kunststoffverpackungen Kunststofffolien (Verpackungen) Folien (keine Verpackungen)
Leder, Gummi, Kork	Leder Gummi Kork
Mittelfraktion	Mittelfraktion
Organik	Gartenabfälle Küchenabfälle Kadaver Sonstige organische Stoffe
Papier, Pappe, Kartonagen	Druckerzeugnisse + Papier groß Papier- und Karton-Verpackungen Sonstiges Papier Sonstige Kartonagen Kleinpapier
Renovierungsabfälle	Renovierungsabfälle
Schuhe	Schuhe
Sonstige Kunststoffe	Sonstige Kunststoffe
Sonstige Verbunde	Sonstige Verbunde
Staubsaugerbeutel	Staubsaugerbeutel
Textilien	Bekleidungstextilien Sonstige Textilien
Verbundverpackungen	Verbundverpackungen

