



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



**Nutzung des CO₂-Einsparpotenzials
des Restmülls von Haushaltungen
durch verbesserte
Sekundärrohstoffabschöpfung**



abfall



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Nutzung des CO₂-Einsparpotenzials des Restmülls von Haushaltungen durch verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung

Impressum

Nutzung des CO₂-Einsparpotenzials des Restmülls von Haushaltungen durch verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung

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, Josef-Vogl-Technikum, Claudia Wagner, Heinz Riedel

Redaktion:

LfU, Josef-Vogl-Technikum, Clemens Marb, Heinz Riedel

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Januar 2014

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Begriffsdefinitionen	6
3	Stand des Wissens	7
3.1	Eigene Vorarbeiten	7
3.2	Abschöpfungspotenzial für Wertstoffe im Restmüll	7
3.3	CO ₂ -Einsparpotenzial durch stoffliche Verwertung von Wertstoffen	8
4	Vorgehensweise	9
4.1	Planung und Durchführung der Sortieranalysen	9
4.1.1	Vorgehensweise	9
4.1.2	Stichprobenplanung	9
4.1.3	Sortierung	11
4.1.3.1	Klassierung von Rest-, Bioabfall und LVP mit der mobilen Abfallsortieranlage	11
4.1.3.2	Manuelle Sortierung der Grobfraction von Rest-, Bioabfall und LVP	12
4.1.3.3	Manuelle Klassierung und Sortierung von PPK und Glas	13
4.2	Datenauswertung und Hochrechnung	15
4.2.1	Erfasste behälterspezifische Daten bei der Probenahme	15
4.2.2	Hochrechnung der bei Probenahme und Sortierung erhaltenen Daten	16
4.2.3	Spezifisches Abfallaufkommen	17
4.2.4	Abgrenzung Restmüll gegenüber stofflich verwertbaren Stoffen	17
4.3	Untersuchte Gebietskörperschaften	19
4.3.1	Holsystem	20
4.3.2	Bringsystem	21
4.3.2.1	Wertstoffinseln	21
4.3.2.2	Wertstoff- oder Recyclinghöfe	21
4.3.3	Entsorgungsgebühren	22
4.3.4	Kennzeichnung der Erfassungssysteme	23
4.3.5	Verwertungswege ausgewählter Wertstofffraktionen	26
4.4	Analytik	27
4.4.1	Analysenstoffgruppen	27

4.4.2	Probenahme	27
4.4.3	Untersuchungsparameter	28
4.4.4	Auswertung	29
5	Ergebnisse	30
5.1	Abfalldaten	30
5.1.1	Restmüll	30
5.1.1.1	Aufkommen	30
5.1.1.2	Zusammensetzung	30
5.1.1.3	Maximales Wertstoffpotenzial	32
5.1.2	Bio- und Grünabfälle	34
5.1.2.1	Aufkommen	34
5.1.2.2	Zusammensetzung	34
5.1.2.3	Vergleich Organikaufkommen Bio- vs. Restmülltonne	40
5.1.3	Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)	42
5.1.3.1	Aufkommen	42
5.1.3.2	Zusammensetzung	42
5.1.3.3	Vergleich PPK-Aufkommen Papier- vs. Restmülltonne	48
5.1.4	Leichtverpackungen (LVP)	50
5.1.4.1	Aufkommen	50
5.1.4.2	Zusammensetzung	50
5.1.5	Glas	57
5.1.5.1	Aufkommen	57
5.1.5.2	Zusammensetzung	57
5.1.6	Metalle	62
5.1.6.1	Aufkommen	62
5.1.6.2	Zusammensetzung	62
5.1.7	Restmüll- und Wertstoffaufkommen (insgesamt)	63
5.2	CO ₂ -Einsparpotenzial durch Wertstoffabschöpfung aus dem Restmüll	65
5.3	Abfallanalysen	68
6	Zusammenfassung	70
	Literatur	74
	Anhang	80

1 Einleitung

In den letzten zwei Jahrzehnten war die Abfallwirtschaft einem starken Wandel unterworfen. Das Bayerische Abfallwirtschafts- und Altlastengesetz (BayAbfAIG) [1] aus dem Jahr 1991, in dem erstmals in Deutschland eine Zielhierarchie bez. der Abfallvermeidung, -verwertung und -beseitigung festgelegt worden ist, förderte die Entwicklung hin zu einer integrierten Abfallwirtschaft, u. a. gekennzeichnet durch den flächendeckenden Ausbau von Wertstoffhöfen, die Einführung von Hol- und Bringsystemen für Wertstoffe (Bioabfälle, Altpapier, Leichtverpackungen, Altglas, Altmetalle) etc. Die Fortschreibung der EU-Abfallrichtlinien [2, 3] und der deutschen Abfallgesetze und -verordnungen – z. B. [4–6] – unterstützten diese Entwicklung. Die eingeleiteten Maßnahmen führten zu einem deutlichen Anstieg der Verwertungsquoten dieser Wertstoffe; gleichzeitig sank das zu entsorgende Restabfallaufkommen auf ungefähr die Hälfte des Niveaus Anfang der 90er Jahre.

Seit etlichen Jahren hat sich das Gesamtabfallaufkommen von der wirtschaftlichen Entwicklung abgekoppelt [7] und bleibt in Bayern in etwa konstant; die Verwertungsquote liegt bei über 70 % [8, S. 87].

Ausgehend von dieser Situation zielt das vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit geförderte Projekt „Nutzung des CO₂-Einsparpotenzials des Restmülls von Haushaltungen durch verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung“ auf das im Restmüll vorhandene Wertstoffpotenzial und auf die Qualität der vom Bürger separat zu erfassenden Wertstoffe.

Die Bayerischen Klimaschutzziele [9] erfordern, das im Abfall enthaltene stoffliche und energetische Potenzial im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft bestmöglich zu nutzen.

Ausgehend von der Abfallzusammensetzung (Restmüll, separat erfasste Wertstoffe) wurden in dem Vorhaben in drei Städten das spezifische Restmüll- und Wertstoffaufkommen (Bioabfälle, Altpapier) ermittelt. Diese Daten bilden die Grundlage für eine Abschätzung der CO₂-Einsparmöglichkeiten infolge einer weiter zu optimierenden Wertstofffassung.

Mit Ausnahme von Mineralien wie Sand, Kies oder Kaolin ist Bayern ein eher rohstoffarmes Land. Deshalb nimmt die möglichst vollständige Nutzung des im Abfall enthaltenen stofflichen und energetischen Potenzials vor dem Hintergrund der CO₂-Problematik in Bezug auf das Erdklima [10], des beschlossenen Ausstiegs der Bundesrepublik Deutschland aus der Kernenergie [11] eine Schlüsselrolle in einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ein. Global trägt die Abfallwirtschaft mit einem einstelligen Prozentbetrag – nach [12] rund 2 % – zum CO₂-Ausstoß bei.

Ungeachtet dessen sind von dem Schließen der Kreisläufe starke Impulse für die Wirtschaft zu erwarten.

2 Begriffsdefinitionen

In diesem Bericht haben die nachstehenden Begriffe folgende Bedeutung:

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

Getrennthaltung, 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.

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

(Alt)Papier, Pappe, Kartonagen ≡ PPK, Papier-, Pappe-, Kartonagen-Abfälle, die in privaten Haushalten anfallen und (i) über die Papiertonne regelmäßig gesammelt, transportiert und der stofflichen Verwertung zugeführt oder (ii) mit dem Restmüll entsorgt 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, Straßenkehrsicht, 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.

Wertstoffe, Abfallbestandteile oder im Hol- oder Bringsystem getrennt erfasste Abfallfraktionen, die zur Wiederverwendung oder für die Herstellung verwertbarer Zwischen- oder Endprodukte geeignet sind.

3 Stand des Wissens

3.1 Eigene Vorarbeiten

In den Jahren 1998 bis 2008 hat das Bayerische Landesamt für Umwelt (BayLfU) den Restmüll aus privaten Haushaltungen (ohne Geschäfts- und Sperrmüll) nach einer einheitlichen Methode [13] untersucht. Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen [14–17] lag auf der Zusammensetzung, dem Aufkommen sowie auf der Charakterisierung des Restmülls anhand physikalisch-chemischer Parameter (Summenparameter, Elementgehalte, Schwermetalle, organische Schadstoffe). Darüber wurde u. a. in Fachzeitschriften [13, 18–20] und auf Tagungen [21, 22] berichtet. Bayernweit wurden in 24 (von 96) repräsentativen Gebietskörperschaften insgesamt 29 Restmüllanalysen durchgeführt. Dabei wurden über 180 Mg Restmüll von über 45.600 Bürgern untersucht. Die Analysen, bestehend aus jeweils einer einwöchigen Sommer- und Wintersortierkampagne, fanden in 17 Landkreisen und 7 kreisfreien Städten mit unterschiedlichsten lokalen Abfallwirtschaftssystemen (Gebührensysteem; Regelabfuhr, Ident-, Verwiegesystem für Restmüll; Hol-, Bringsystem für Wertstoffe) und Siedlungsstrukturen statt [23].

Während sich die BayLfU-Abfallanalysen in der Vergangenheit auf den Restmüll konzentrierten, wurde erstmals im Jahr 2007 der Untersuchungsumfang auf die separat erfassten Wertstoffe ausgedehnt. Dabei wurde der gesamte beim Bürger anfallende Abfall (Restmüll + separat erfasste Wertstoffe) in zwei Gebietskörperschaften (1 Landkreis, 1 kreisfreie Stadt) repräsentativ beprobt und analysiert [24]. Ein Schwerpunkt lag auf der Wertstoffzusammensetzung (insbesondere Qualität, d. h. Störstoffgehalt). Bei der Fortentwicklung der Abfall- in eine Kreislaufwirtschaft rückt eine gesamtheitliche Betrachtung immer mehr in den fachlichen Fokus.

Bei dem aktuellen Projekt wurde dieser integrale Ansatz weiterverfolgt und durch eine Angleichung der Sortierkataloge für Restmüll und Wertstoffe methodisch verbessert. Identische Sortierkataloge erlauben Aussagen über die Verteilung von (insbesondere Wertstoff-)Sortierfraktionen auf Restmüll- und Wertstofftonne und damit über das Trennverhalten der Bürger. Rund 2½ Jahre nach den letzten BayLfU-Analysen liefern die Restmüll- und Wertstoffuntersuchungen in drei bayerischen Gebietskörperschaften aktuelle Daten zu Abfallaufkommen und -zusammensetzung. Die bisherigen Ergebnisse belegen, dass die Abfalltrennung nach Wertstoffen in einem anonymen Wohnungsumfeld signifikant schlechter ist [18, 23]; dies trifft vor allem auf Gebiete mit (inner-)städtischen Siedlungsstrukturen zu [25]. Aus diesem Grund fanden die Abfallanalysen in drei Städten mit einem hohen Anteil an (inner-)städtischen Strukturen statt; alle drei Städte verfügen über vergleichbare Holsysteme für die Wertstoffe Bioabfälle, Altpapier und Leichtverpackungen.

3.2 Abschöpfungspotenzial für Wertstoffe im Restmüll

Der Restmüll aus Haushaltungen enthält in der Regel noch eine Vielzahl an Wertstoffen, z. B. Bioabfall, Papier, Kunststoffe, Metalle, die sich zumindest zum Teil für eine stoffliche oder höherwertige energetische Verwertung eignen. Das Aufkommen im Restmüll hängt insbesondere von den jeweiligen örtlich etablierten Wertstofffassungssystemen ab; dabei schneiden komfortablere Holsysteme gegenüber Bringsystemen meist besser ab [18]. So liegen die Wertstoffgehalte im Restmüll bei Holsystemen um durchschnittlich 50 Prozentpunkte {Organik; Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)} bzw. 30 Prozentpunkte (Leichtverpackungen) unter den Werten von Bringsystemen [23].

Außerdem beeinflusst die Siedlungsstruktur das Trennverhalten und damit das Wertstoffaufkommen im Restmüll [18, 23].

3.3 CO₂-Einsparpotenzial durch stoffliche Verwertung von Wertstoffen

Die separate Erfassung von Wertstoffen reduziert zum einen das Restmüllaufkommen und damit die thermisch zu behandelnde Abfallmasse. In einer Reihe von Gebietskörperschaften kann der Bürger auch seine Gebühren reduzieren, indem er eine kleinere Größe für den Restmüllbehälter wählt oder – bei leistungsbezogener Gebühr – nicht jeden angebotenen Abfuhrtermin nutzt. Auch bei der Verwertung des Restmülls führt die Abtrennung von Wertstoffen zu einer Gebührenreduzierung.

Zum anderen ist die Wertstoffabschöpfung aus dem Restmüll Voraussetzung für eine möglichst hochwertige stoffliche Verwertung der Wertstoffe. Durch deren Einsatz als Sekundärrohstoffe werden Primärrohstoffe ersetzt. Die Gewinnung, Aufbereitung und Transport von Primärrohstoffen sind vielfach mit einem hohen Stoff- und Energieeinsatz (thermisch, elektrisch) verbunden, woraus zwangsläufig umwelt- bzw. klimarelevante Emissionen in der Wertschöpfungskette bis hin zu den Einsatzstoffen entstehen. Eine verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung führt demgegenüber durch die vermehrte Einsparung von Primärrohstoffen i. d. R. zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen.

Bezüglich der Klimarelevanz der stofflichen Verwertung sind in der Literatur für die einzelnen Wertstoffe, teilweise differenziert nach Werkstoffen bzw. Recyclingverfahren, unterschiedliche Angaben zu finden [26–35]. Dies betrifft v. a. den Detaillierungsgrad der Stoffstrommodelle (Einzelstoffe vs. Stoffgemische), die getroffenen Annahmen bis hin zu den Systemgrenzen der einzelnen Stoffstrombilanzen.

So berücksichtigen z. B. [29] bei der PPK-Verwertung den Einsatz diverser Fasern, [26, 27] bei der LVP-Verwertung den Einsatz der Kunststoffe Polyethylen, Polypropylen und Polyethylenterephthalat, [32] unterschiedliche Anteile an Altglas bei der Herstellung von Behälterglas, [26, 27, 33, 34] verschiedene Metallsorten (Stahl, Edelstahl, Aluminium) bei der Stahlerzeugung.

Den Berechnungen der CO₂-Einsparpotenziale bei stofflicher Verwertung der Wertstoffe wurden im vorliegenden Bericht für die Fraktionen Organik, PPK, Glas und Metalle die CO₂-Faktoren des bifa Umweltinstituts [36, 37] sowie für die Fraktion LVP der CO₂-Faktor des IFEU Heidelberg [38] zugrunde gelegt. Aufgrund zahlreicher Gutachten für öffentliche und private Auftraggeber zur Ökobilanz abfallwirtschaftlicher Systeme verfügen beide Institutionen auf diesem Arbeitsgebiet über einschlägiges Expertenwissen.

4 Vorgehensweise

4.1 Planung und Durchführung der Sortieranalysen

4.1.1 Vorgehensweise

Die Restmüll- und Wertstoffsortierungen erfolgten in Anlehnung an die „Richtlinie für die Durchführung von Untersuchungen zur Bestimmung der Menge und Zusammensetzung fester Siedlungsabfälle im Land Brandenburg“ [39].

Anstatt der in der Richtlinie vorgegebenen vier über das Jahr verteilten Sortierkampagnen (Frühjahr, Sommer, Herbst, Winter), durch die saisonale Schwankungen in Abfallaufkommen und -zusammensetzung erfasst werden, wurden je Gebietskörperschaft zwei Kampagnen (Sommer, Winter) durchgeführt.

Die Untersuchungszeiträume erstreckten sich jeweils über 15 Arbeitstage und fanden von November 2010 bis April 2011 (Winterkampagnen) sowie von Mai bis September 2011 (Sommerkampagnen) statt. Die Gesamtdauer der Sortieranalysen betrug 18 Wochen.

Die Durchführung der Restmüll- und Wertstoffsortieranalysen in drei bayerischen Städten, im Folgenden mit S9, S10 und S11 bezeichnet, wurde öffentlich ausgeschrieben [40].

Um einen reibungslosen Ablauf der Sortierungen und eine einheitliche Vorgehensweise in allen Gebietskörperschaften zu gewährleisten, wurde die mobile Sortieranlage des BayLfU eingesetzt und die Untersuchungskampagnen vor Ort vom BayLfU betreut.

4.1.2 Stichprobenplanung

Die Untersuchung des Restmülls und der Wertstoffe erfolgte anhand repräsentativer Stichproben. Um die Repräsentativität der Stichproben zu gewährleisten, wurden von Feiertagen oder Ferienzeiten beeinflusste Wochen bei der Planung der Kampagnen ausgeklammert.

Eine statistisch abgesicherte Untersuchung erfordert gemäß [39] je Sortierkampagne mindestens 20 Stichprobeneinheiten (SPE), wobei in jedem (homogenen) Teilgebiet mindestens sechs Stichprobeneinheiten zu ziehen sind.

Die Unterteilung eines heterogenen Gebiets in homogene Teilgebiete nennt man Schichtung. Die in den Teilgebieten erzielten Ergebnisse lassen sich mit Hilfe statistischer Verfahren (im einfachsten Fall gewichtetes arithmetisches Mittel) auf das gesamte Untersuchungsgebiet hochrechnen.

Bei den bisherigen BayLfU-Untersuchungen [13–22] hat sich die Unterteilung (Schichtung) der Untersuchungsgebiete in die Gebietsstrukturen *Innerstädtisch*, *Städtisch* und *Stadttrand* (bzw. *Ländlich*) bewährt und wurde in diesem Projekt entsprechend übernommen.

In Tabelle 1 sind die Einteilungskriterien der Gebietsstrukturen *Innerstädtisch*, *Städtisch* und *Stadttrand* genannt und bildlich erläutert.

Tab. 1: „Definitions“kriterien des Schichtungsmerkmals *Gebietsstruktur*.

Innerstädtisch [is]	Städtisch [s]	Stadtrand [sr]
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verdichtete Wohnbebauung ▪ Mindestens 7 Wohneinheiten ▪ Keine Nutzgärten ▪ Wenig oder keine Ziergärten bzw. Abstandsrün 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ I. W. reine Wohngebiete ▪ Mehrfamilienhäuser ▪ Auch mit privaten Zier- und Nutzgärten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reine Wohngebiete ▪ Ein- und Zweifamilienhäuser ▪ I. d. R. Neubausiedlungen ▪ Private Nutzgärten 

Die Unterteilung in Schichtungsmerkmale würde bedeuten, dass in jeder Gebietsstruktur (Innerstädtisch, Städtisch, Stadtrand) ein Stichprobenumfang von mindestens sechs SPE an Restabfällen und getrennt erfassten Wertstoffen (Bioabfall, PPK, LVP, Glas, Metall) notwendig ist.

Aufgrund der Erfahrungen bei früheren BayLfU-Sortierungen [24] wurden in diesem Projekt pro Sortieranalyse 21 SPE an Restmüll, 15 SPE an LVP, 12–15 SPE an PPK sowie jeweils 9 SPE an Bioabfall und Glas gesammelt.

In einer der drei untersuchten Gebietskörperschaften (S10) wird an den Wertstoffinseln zusätzlich Metall erfasst. Bei der Probenahme wurden anstelle der 15 SPE an LVP 12 SPE an LVP und 3 SPE an Metallen an den Wertstoffinseln gezogen.

Eine SPE umfasst ein Abfallvolumen von $1,1 \text{ m}^3$, was vor Ort durch einen 1.100 l-Müllgroßbehälter als Sammelbehälter realisiert wird [39].

Bei der Stichprobenziehung wird der Inhalt kleinerer Behältergrößen (z. B. 120 l oder 240 l Fassungsvermögen) in bereitgestellte 1.100 l-Sammelbehälter umgeleert, bis diese vollständig befüllt sind. In Wohnanlagen, in denen 1.100 l-Container für die Abfallentsorgung genutzt werden, wird der Inhalt als Ganzes beprobt.

Neben Füllgrad und Masse (gefüllter und leerer Behälter) wird der Standort der für die SPE ausgewählten Abfallbehälter protokolliert. Anhand der Adresse wird über das Einwohnermeldeamt die Einwohnerzahl der beprobten Haushalte ermittelt.

Davon abweichend erfolgt die Stichprobenahme der im Bringsystem erfassten Wertstoffe Glas und Metall: Diese werden an Wertstoffinseln über Depotsammelcontainer unterschiedlicher Größe (Volumina $1\text{--}5 \text{ m}^3$) erfasst. Für die Untersuchung der beiden Wertstoffe wurden die ausgewählten Depotcontainer als Stichprobeneinheit (SPE) definiert. Da für die Sammlung über Wertstoffinseln kein Einwohnerbezug möglich ist, wurden für Glas und Metall Standort und Stichprobenmasse protokolliert.

Die Sammlung der SPE erfolgte anhand eines im Vorfeld erstellten Stichprobenplans unmittelbar vor dem regulären Abfuhrtermin. Soweit möglich, wurden in den Gebietskörperschaften bei beiden Sortierkampagnen jeweils dieselben Haushalte beprobt.

Diese Forderung ist nicht immer umzusetzen, da (i) das Abfallaufkommen je nach Abfallart, Entleerturnus und Gebietsstruktur stark variiert (z. B. Biotonne: wöchentliche Abfuhr im Sommer, stark differierende Massen durch hohes Gartenabfallaufkommen im Stadtrandbereich, kaum Grüngut und geringe Trennbereitschaft für Bioabfall im innerstädtischen Bereich) und (ii) nicht davon ausgegangen werden kann, dass immer dieselben Behälter zur Beprobung zur Verfügung stehen.

Eine Aufteilung der Abfallherkunft in gewerblich und privat ist bei Bringsystemen (Glas, Metalle) nicht gegeben.

4.1.3 Sortierung

4.1.3.1 Klassierung von Rest-, Bioabfall und LVP mit der mobilen Abfallsortieranlage

Mit Hilfe der mobilen Abfallsortieranlage (Abb. 1) wurden Rest-, Biomüll und LVP mechanisch in die Kornklassen Fein-, Mittel- und Grobfraktion getrennt.

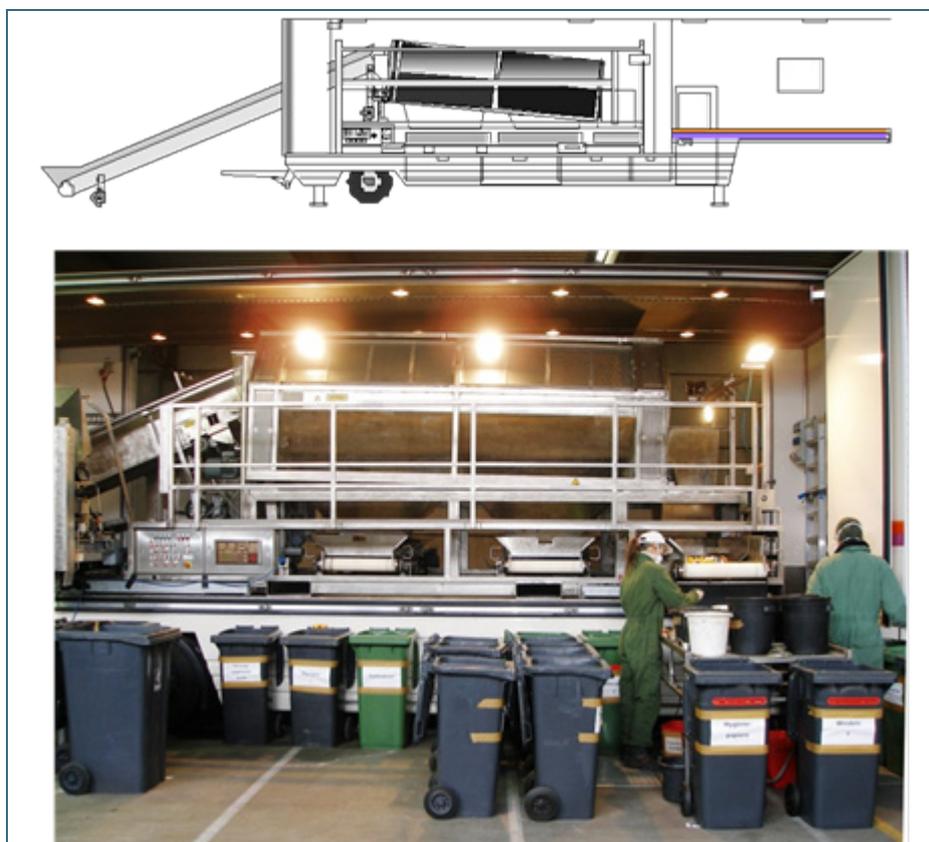


Abb. 1:
Mobile Sortieranlage
im Einsatz (schematische
Darstellung
oben).

Dazu wurden die Abfälle über ein Aufgabebeförderband der zweistufigen Siebtrommel zugeführt. Grobstückige Teile werden vorab aussortiert, verschlossene Säcke geöffnet und deren Inhalt gleichmäßig auf das Förderband verteilt (Abb. 2). In den zwei Siebzonen mit Lochweiten von 10 mm und 40 mm werden die Fein- und Mittelfraktion abgetrennt und über seitlich auslaufende Förderbänder in 240 l-Tonnen ausgetragen. In der Mittelfraktion werden Batterien quantitativ ermittelt.

Bei den für die Sortierung festgelegten Geräteeinstellungen (Neigung und Umdrehungsgeschwindigkeit der Siebtrommel, Geschwindigkeit der Förderbänder) beträgt die Durchsatzleistung der Anlage ca. 150 kg/h.

In Abbildung 2 ist links das Aufgabeförderband und rechts die Siebtrommel von innen zu sehen.



Abb. 2:
Blick auf das Aufgabeförderband (links) und in die zweistufige Siebtrommel, vom Trommelauslauf gesehen (rechts).

4.1.3.2 Manuelle Sortierung der Grobfraction von Rest-, Bioabfall und LVP

Der Siebüberlauf (= Grobfraction; $d_p > 40 \text{ mm}$) gelangt für die manuelle Sortierung über ein quer zur Sortiertrommel angeordnetes Förderband auf einen $1 \times 2 \text{ m}$ großen Sortiertisch (Abb. 3).

Die Auftrennung der Grobfraction erfolgt in 41 Sortierfraktionen (= Stoffgruppen). Die Massen der einzelnen Stoffgruppen werden mit einer geeichten Bodenwaage bestimmt und protokolliert.



Abb. 3:
Draufsicht auf den Sortiertisch bei der Sortierung der Grobfraction von Restmüll.

Die 41 Stoffgruppen der Sortierung lassen sich zu 12 Obergruppen zusammenfassen; die beiden Klassierfraktionen Fein- und Mittelfraction gelten als eigene Obergruppen, vgl. Tabelle A-1 im Anhang.

Aus den Massenanteilen der einzelnen Abfallfraktionen pro Stichprobe wird die durchschnittliche Abfallzusammensetzung der jeweiligen Gebietskörperschaft ermittelt.

4.1.3.3 Manuelle Klassierung und Sortierung von PPK und Glas

Die Klassierung und Sortierung von PPK und Glas erfolgten überwiegend von Hand.

PPK

PPK wird auf einen 1 m × 1 m großen Siebkasten mit einer Maschenweite von 40 mm gegeben (Abb. 4) und manuell gerüttelt. Das klassierte Material kleiner 40 mm fällt als Fein-/Mittelfraktion an. Diese wird nach Batterien durchsucht; Stückzahl und Masse der Batterien werden in Wäge-Protokollen notiert.



Abb. 4:
Siebkasten mit Maschenweite 40 mm für die Papiersortierung.

PPK größer 40 mm bilden den Siebüberlauf (= Grobfraktion), der nach einem für diese Fraktion erweiterten Stoffgruppenkatalog {Druckerzeugnisse + Papier groß; Bücher mit Harteinband; Kleinpapier; Papier-Verpackungen; Sonstiges Papier; Unerwünschte Stoffe aus Papier (z. B. durchgefärbtes Papier, Blaupausen-, Butterbrot-, Kohle-, Thermo-, Transparentpapier, Träger von Klebeetiketten); Karton-Verpackungen; Sonstige Kartonagen} sortiert wird (siehe Tab. A-1 im Anhang). Durch diese Aufteilung werden die in der Papierverwertung geforderten Qualitäten berücksichtigt [41].

Glas

Aufgrund der Bruchgefahr wurde Glas nicht mit der Sortieranlage klassiert. Stattdessen wird Glas nach Farben getrennt, z. B. auf eine saubere, überdachte Freifläche gekippt (vgl. Abb. 5) und von Hand nach einem für Glas erweiterten Stoffgruppenkatalog (Behälterglas weiß; grün/blau; braun; Sonstiges Glas) sortiert (siehe Tab. A-1 im Anhang).



Abb. 5:
Abgekippter Inhalt eines Drei-Kammer-Glascontainers (oben), Sortierung von Braunglas in die vier Glasfraktionen und weitere Stoffgruppen (vgl. Tab. A-1 im Anhang).

Buntgläser mit nicht eindeutiger Färbung (siehe in Abb. 6 dargestellte Behältergläser) wurden der am ehesten entsprechenden Farbe zugeordnet. Blaues Behälterglas wurde zum Grünglas sortiert, andersfarbige Behältergläser (rot, gelb) separat erfasst.



Abb. 6:
Beispiele für eine Farbabstufung von grünem zu braunem Behälterglas (von links nach rechts).

Verschlüsse aus Kunststoff, Metall oder anderen Materialien (z. B. Kronkorken, Schraubdeckel, Korken) wurden – sofern möglich – von den Behältergläsern entfernt und unter der jeweiligen Sortierfraktion separat erfasst.

Die Massen der einzelnen Stoffgruppen wurden mit einer geeichten Bodenwaage ermittelt und in Wägeprotokollen festgehalten.

4.2 Datenauswertung und Hochrechnung

4.2.1 Erfasste behälterspezifische Daten bei der Probenahme

Bei der Probenahme werden an den ausgewählten Adressen sämtliche Abfallbehälter in Augenschein genommen. Zunächst werden die Behältergrößen sowie die jeweiligen Füllgrade protokolliert, bevor der Inhalt der Tonne mit dem höchsten Füllgrad in den Sammelbehälter (SPE) umgeleert und die Nettomasse des Tonneninhalts ermittelt wird.

Aus den bei der Sammlung erfassten Größen werden folgende behälterspezifische Daten ermittelt, die in Abbildung 7 grafisch erläutert sind:

- **Füllgrad [Vol.-%]**
Verhältnis des von den Abfällen beanspruchten Behältervolumens (= verfülltes Behältervolumen) zum Nennvolumen des Behälters. Der Füllgrad wird vor Ort in 10 %-Schritten geschätzt.
- **Raumdichte [kg/l]**
Errechnet sich aus der Abfallmasse eines Müllgroßbehälters, bezogen auf das Behälter-Nennvolumen (= bereitgestelltes Behältervolumen).
- **Schüttdichte [kg/l]**
Ergibt sich aus der Abfallmasse eines Müllgroßbehälters, bezogen auf das beanspruchte (= verfüllte) Behältervolumen.
Hohe Schüttdichten weisen auf schwere Abfallbestandteile (z. B. Organik) oder auf Verdichtung des Abfalls hin, während geringe Schüttdichten ein Anzeichen für sperrige oder voluminöse (meist Verpackungen) Abfälle sind.
- **Spezifisches genutztes Behältervolumen [l/(E · Wo)]**
Beanspruchtes Behältervolumen je Einwohner und Woche.
Das spezifische genutzte Behältervolumen errechnet sich aus der Multiplikation des Füllgrades mit der beprobten Behältergröße (Nennvolumen) unter Berücksichtigung der an diesen Behälter angeschlossenen Einwohner und des Leerungsintervalls. Es wird mit dem jedem Einwohner zur Verfügung gestellten Behältervolumen verglichen; das spezifische bereitgestellte Behältervolumen in [l/(E · Wo)] ist in der Regel in der Abfallwirtschaftsatzung festgelegt.



Abb. 7:
Behälterspezifische Kennzahlen Füllgrad, Raum- und Schüttdichte bei einem 240 l-Müllgroßbehälter, schematisch dargestellt.

4.2.2 Hochrechnung der bei Probenahme und Sortierung erhaltenen Daten

Nach Klassierung und Sortierung jeder SPE werden die Massen der einzelnen Fraktionen des Sortierkatalogs (Tab. A-1 im Anhang) ermittelt und protokolliert. Die Hochrechnung [13] der Daten erfolgt nach Gleichung (1) und basiert auf einer geschichteten Verhältnisschätzung. Folgende Hauptrechen-schritte liegen der Methode zugrunde:

- Auswertung der Erhebungsdaten für jede separat untersuchte Stichprobeneinheit (Anzahl der erfassten Einwohner, Behälterfüllgrade, Masse der Sortierfraktionen pro Woche)
- Berechnung der einwohnerspezifischen Werte je Gebietsstruktur (*Stadtrand*, *Städtisch*, *Innerstädtisch*) durch Einbeziehung recherchierter Einwohnerzahlen der beprobten Adressen
- Hochrechnung für die entsprechende Gebietskörperschaft durch Verhältnisschätzung anhand der Schicht „Gebietsstruktur“ unter Einbeziehung der Einwohnerzahl der jeweiligen Schicht
- Berechnung der Jahresdurchschnittswerte des Abfallaufkommens aus den Ergebnissen der Winter- und Sommerkampagne unter Berücksichtigung der Jahresganglinie

Für die Einwohnerverteilung in den Gebietsstrukturen wurde folgende Zuordnung vorgenommen:

- Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser (entspricht Gebietsstruktur *Stadtrand*) sowie der Mehrfamilienhäuser nach Angaben des LfStad [42]
- Einteilung der Mehrfamilienhäuser in Häuser mit 3–6 Wohneinheiten (entspricht Gebietsstruktur *Städtisch*; Annahme: durchschnittlich 5 Wohneinheiten) und Häuser mit mindestens 7 Wohneinheiten (entspricht Gebietsstruktur *Innerstädtisch*; Annahme: durchschnittlich 12 Wohneinheiten); daraus Berechnung der Einwohnerzahl der Gebietsstrukturen *Innerstädtisch*, *Städtisch* und *Stadtrand*

$$\text{Abfall}_{\text{gesamt}} = \sum_{i=1}^N \text{Einwohner}_i \cdot \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^L \text{Masse}_j \text{ (Fraktion)}_k}{\sum_{j=1}^M \text{Einwohner}_j} \quad (1)$$

i = Index der einzelnen Schichten

N = Anzahl der Schichten

j = Index für die einzelnen Stichproben

M = Anzahl der Stichproben in der jeweiligen Schicht

k = Index für die einzelnen Stofffraktionen

L = Anzahl der ermittelten Stofffraktionen

Das durchschnittliche Jahresabfallaufkommen an Restmüll und Bioabfall – Winter- und Sommersortierkampagnen nach obigem Schema ausgewertet – wird mit Hilfe der Jahresganglinie gewichtet und anschließend gemittelt. Die Jahresganglinie stellt das monatliche Abfallaufkommen der Gebietskörperschaft als Zeitreihe dar; die Zeitreihe wurde über mindestens 24 Monate betrachtet und die Trendlinie mittels linearer Regression ermittelt. Der Gewichtungsfaktor für den jeweiligen Untersuchungsmonat ergibt sich aus der Division des Trendlinienwertes durch das im Untersuchungsmonat bestimmte Abfallaufkommen.

Im Unterschied zu Restmüll und Bioabfall standen für PPK, LVP, Glas und Metalle keine Jahresganglinien zu Verfügung. Die Berechnung der jeweiligen Jahreswerte aus den Ergebnissen der beiden Sortierkampagnen erfolgte daher über eine (ungewichtete) Mittelwertbildung.

Die ermittelten Ergebnisse werden statistisch geprüft und einer Fehlerrechnung unterzogen.

4.2.3 Spezifisches Abfallaufkommen

Das spezifische Abfallaufkommen [kg/(E · a)] gibt die angefallene Abfallmasse je Einwohner und Jahr wieder und erlaubt einen direkten Vergleich zwischen den einzelnen Abfallaufkommen der Gebietskörperschaften.

Die am jeweiligen Grundstück im Holsystem erfassten Abfälle – Restmüll, Bioabfall und PPK – können immer eindeutig den Wohneinheiten und damit Einwohnern zugeordnet werden. Aus diesem Grund können für diese Abfälle sowohl die Daten zur Zusammensetzung als auch das einwohnerspezifische Abfallaufkommen (kg pro Einwohner und Jahr) für jede Gebietsstruktur berechnet werden.

Die im Bringsystem (Depot-Container an Wertstoffinseln) erfassten Abfälle – Glas und Metalle – können den Wohneinheiten und damit Einwohnern nicht zugeordnet werden. Dies trifft auch für die LVP zu, da die Gelben Säcke mitunter nicht direkt am Grundstück des/der Abfallerzeuger/s bereitgestellt werden. Oftmals legen die Bürger ihre Gelben Säcke wegen fehlender Standfestigkeit etc. an einer geeigneten Stelle zusammen ab. Daher können für Glas, Metalle und LVP keine spezifischen Daten (Einwohnerbezug) in der jeweiligen Gebietsstruktur angegeben werden.

4.2.4 Abgrenzung Restmüll gegenüber stofflich verwertbaren Stoffen

Potenziell verwertbare Stoffe im Restmüll sind vor allem die Sortierfraktionen/Obergruppen Küchen- und Gartenabfälle, PPK, Behälterglas sowie Kunststoff-, Metall- und Verbundverpackungen.

Ob diese im Restmüll enthaltenen Wertstoffe tatsächlich vor dem Befüllen der Restmülltonne stofflich verwertbar waren, ist posteriori nicht zweifelsfrei festzustellen. Durch die mehrtägige Lagerung des feuchten, mitunter biogenen Abfalls im Restmüllbehälter und die einhergehende Verdichtung sowie den beginnenden biologischen Abbau verändern sich Konsistenz und Feuchte des Abfallkonglomerats. Durch den intensiven Kontakt der Abfallinhaltsstoffe untereinander werden die wertgebenden Eigenschaften i. d. R. gemindert.

Ungeachtet des äußeren Aussehens werden aus diesen Gründen grundsätzlich stofflich verwertbare Stoffe als stofflich verwertbar angesehen. D. h., es wird stets das maximale Verwertungspotenzial ermittelt.

Bei der Auswertung der Restmüllsortierdaten wurden die in Tabelle 2 genannten Sortierfraktionen zu Wertstofffraktionen zusammengefasst.

Tab. 2: Zuordnung einzelner Restmüllsortierfraktionen zu Wertstofffraktionen.

Wertstofffraktion	Sortierfraktionen
Organik	<ul style="list-style-type: none"> • Küchenabfälle • Gartenabfälle • Hygienepapiere • 80 Mass.-% der Mittelfraktion
Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)	<ul style="list-style-type: none"> • PPK-Verpackungen • PPK-Druckerzeugnisse • Sonstige PPK
Leichtverpackungen (LVP)	<ul style="list-style-type: none"> • Kunststoffverpackungen • Kunststofffolien (Verpack.) • Styropor • Verbundverpackungen
Metallverpackungen	<ul style="list-style-type: none"> • Fe-Metallverpackungen • NE-Metallverpackungen
Stoffgleiche Nichtverpackungen (stNVP)	<ul style="list-style-type: none"> • Sonstige Folien • Sonstige Kunststoffartikel
Sonstige Metalle	<ul style="list-style-type: none"> • Sonstige Metallteile
Elektronikschrott	<ul style="list-style-type: none"> • Elektronikschrott
Glas	<ul style="list-style-type: none"> • Behälterglas

Um das maximale Wertstoffpotenzial im Restmüll zu erfassen, beinhaltet die Wertstofffraktion Organik neben den Sortierfraktionen (> 40 mm) Küchen-, Gartenabfälle und Hygienepapiere (z. B. Küchentücher, Papierservietten, -taschentücher) den organischen Anteil der sich durch den Siebvorgang ergebenden Mittelfraktion (10–40 mm). Die Mittelfraktion besteht bis zu 90 Mass.-% aus Organik [18], wie frühere, auch unveröffentlichte Untersuchungen des BayLfU zeigen. Bei den vorliegenden Sortieranalysen wurde die Mittelfraktion des Restmülls nicht auf ihre Zusammensetzung untersucht; den Berechnungen liegt ein Organikanteil von 80 Mass.-% zugrunde.

4.3 Untersuchte Gebietskörperschaften

Die Restmüll- und Wertstoffuntersuchungen wurden in drei bayerischen kreisfreien Städten (Einwohnerzahl > 60 Tsd.) durchgeführt; sie werden im Folgenden in Fortführung der bisherigen Nomenklatur [15–17] mit S9, S10 und S11 bezeichnet. Sie weisen eine vergleichbare Abfallwirtschaftsstruktur (Hol- und Bringsystem) auf. Einen Überblick über die Abfallerfassungssysteme der Städte gibt Tabelle 3.

Tab. 3: Ausgewählte abfallwirtschaftliche Kenndaten der untersuchten Gebietskörperschaften. Daten aus den jeweiligen Abfallwirtschaftssatzungen (Stand S9: August 2007, S10: September 2006, S11: September 2005).

Gebietskörperschaft	Gebührenmaßstab	Holsystem				Bringsystem (Wertstoffinseln)	
		Restmüll	Bioabfälle	PPK	LVP	Glas ¹⁾	Metalle
S9	Behältervolumen	14-tägig	7-tägig	4-wöchig	14-tägig	nach Bedarf	– ²⁾
S10				4-wöchig			nach Bedarf
				14-tägig ³⁾			
S11		14-tägig	14-tägig	4-wöchig			– ²⁾
		7-tägig ⁴⁾	– ⁴⁾				

¹⁾ Farbliche Trennung von Behälterglas in Weiß-, Grün- und Braunglas

²⁾ Entsorgung der Metalle erfolgt über die Wertstoffhöfe

³⁾ Innenstadt

⁴⁾ Wöchentliche Sammlung des Restmülls in Stadtgebieten ohne Holsystem für Bioabfälle

In den drei Städten erfolgt die Entleerung der Restmüll-, Papier- und Biotonne bis auf die unten genannten Ausnahmen im „Vollservice“: Das Personal des Entsorgungsunternehmens holt die Behälter von ihren Standplätzen auf den Grundstücken ab, entleert sie und bringt sie anschließend an ihren Standort zurück. Der Entsorgungspflichtige hat den freien Zugang zu den Behältern sicherzustellen. Überschreitet der Transportweg eine bestimmte Strecke, sind die Haushalte selbst für die Behälterbereitstellung verantwortlich.

Der Vollservice erfolgt bis auf die eingegliederten Gemeinden in der Stadt S11 für alle Behälter. In der Stadt S9 gilt dieser Service nur für die Restmülltonne, während die Behälter für Bioabfall und PPK der Bürger bereitstellen muss. Eine Ausnahme bilden PPK-Behälter mit einem Volumen von 770 l und 1.100 l, die dem Vollservice unterliegen.

Zugelassene Rest- und Bioabfall-Säcke zur Erfassung eines über das Behältervolumen hinausgehenden Abfallaufkommens unterliegen wie der Gelbe Sack nicht dem Vollservice; sie müssen vor dem entsorgungspflichtigen Grundstück bereitgestellt werden.

Als zusätzlichen Service bietet die Stadt S9 eine Windelsammlung an. Windelsäcke, die u. a. bei dem kommunalen Entsorgungs- und Baubetrieb kostenlos zu erwerben sind, werden im 14-tägigen Wechsel zur Restmüllabfuhr abgeholt und sind ebenfalls bereitzustellen.

4.3.1 Holsystem

Die Sammlung der Abfälle Rest- und Bioabfall sowie PPK erfolgt in allen drei Städten prinzipiell im „Drei-Tonnen-Holsystem“, d. h., jeder Wohneinheit stehen genormte Behälter für eine getrennte Erfassung zur Verfügung. Die Behälter werden von kommunalen oder privaten Unternehmen entleert. Aufgrund der engen Bebauungsstruktur verzichtet die Stadt S11 in der Innenstadt auf eine Biotonne; der Bioabfall wird mit dem Restmüll wöchentlich gesammelt.

Für die Restmüllsammung und für die Wertstoffe Bioabfall und PPK stehen dem Bürger in den drei Städten unterschiedliche Behältergrößen zur Verfügung, vgl. Tabelle 4.

Tab. 4: Behältergrößen zur Sammlung von Restmüll, Bioabfällen und PPK in den untersuchten Gebietskörperschaften.

Stadt	Restmüll-Behälter								Bioabfall-Behälter					PPK-Behälter			
	60 l	80 l	90 l	120 l	240 l	770 l	1.100 l	4.400 l	90 l	120 l	240 l	770 l	1.100 l	120 l	240 l	770 l	1.100 l
S9	-	x	-	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x
S10	-	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	-	-	x	x	-	x
S11	x	-	x	x	x	-	x	-	x	x	x	-	-	x	x	-	x

Bei der Wahl der Behältergröße ist in den Städten S10 und S11 pro Person und Woche eine Mindestkapazität von 15 l festgelegt.

Über das zur Verfügung stehende Behältervolumen hinausgehender Restmüllanfall ist für die Sammlung in den drei Städten in käuflich erwerbenden Restmüllsäcken bereitzustellen. Für zusätzlich anfallende Gartenabfälle gibt die Stadt S9 gegen eine Gebühr geeignete kompostierbare Säcke aus; in der Stadt S11 erfolgt dieser Service kostenlos.

Die Sammlung von Grünabfällen über die Biotonne ist ohne einen Häckselschritt vielfach unmöglich. Für diesen Fall bieten die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger in den drei Gebietskörperschaften ein erweitertes Hol- und Bringsystem (siehe Abschnitt 4.3.2) an.

In den Städten S9 und S10 werden im Frühjahr und Herbst an festgelegten Tagen flächendeckend Grüngutsammlungen durchgeführt; Baum- und Strauchschnitt werden mit Spezialfahrzeugen (z. B. Kranfahrzeuge mit Abrollcontainer, Müllpressfahrzeuge) an den Grundstücken oder ausgewiesenen Sammelplätzen abgeholt.

LVP werden in den drei Städten im Gelben Sack erfasst, die Stadt S10 setzt in Großwohnanlagen zusätzlich Gelbe Tonnen ein. Die Sammlung der LVPs erfolgt im Auftrag des Dualen Systems Deutschland (DSD) durch private Entsorgungsdienstleister.

Sperrmüll wird in den drei Städten auf Antrag zweimal im Jahr kostenlos durch die kommunalen Entsorgungsbetriebe abgeholt. Die Kosten sind in der Restmüllgebühr enthalten.

Haushaltsgroßgeräte wie Kühlschrank, Elektroherd, Geschirrspül-, Waschmaschine, Trockner etc. („weiße Ware“) als auch großteiliger Metallschrott werden ebenfalls innerhalb der Sperrmüllabfuhr eingesammelt. Darüber hinaus können sie kostenlos am Wertstoffhof oder im funktionstüchtigen Zustand bei karitativen Einrichtungen abgegeben werden.

4.3.2 Bringsystem

4.3.2.1 Wertstoffinseln

Zur Erfassung von Wertstoffen im Bringsystem setzen die drei Städte flächendeckend über das Stadtgebiet verteilte Wertstoffinseln ein. Die Wertstoffinseln liegen in allen drei Städten meist nicht weiter als 500 m (Innenstadt) bis 1.000 m (Stadttrand) voneinander entfernt.

An den Wertstoffinseln werden in den drei Gebietskörperschaften Glas, in der Stadt S10 zusätzlich Metalle erfasst. Die Städte S9, S10 und S11 verfügten zum Untersuchungszeitpunkt über 105, 127 bzw. 105 Wertstoffinseln. Darüber hinaus existierten in der Stadt S11 weitere 30 Standplätze für Glas auf privatem Grund.

Die Entleerung der Sammelcontainer erfolgt nach Bedarf.

4.3.2.2 Wertstoff- oder Recyclinghöfe

In allen drei Städten ergänzen Wertstoffhöfe die Erfassung von Glas (und Metallen) an Wertstoffinseln.

Stadt S9

Im städtischen Wertstoffhof haben die Bürger und ortsansässige Firmen die Möglichkeit, Abfälle und Wertstoffe sortenrein getrennt abzugeben. Ebenso werden dort Sonderabfälle aus Haushaltungen und Kleinbetrieben angenommen. Der Wertstoffhof ist von Montag bis Freitag von 8 bis 17 Uhr und am Samstag von 8 bis 12 Uhr geöffnet.

Für Gartenabfälle bis zu 1 m³ besteht für den Bürger die Möglichkeit, diese kostenlos an einer Kompostanlage eines privaten Betreibers anzuliefern.

Stadt S10

An der Müllumladestation der Stadt ist ein Wertstoffhof mit Problemmüllannahmestelle eingerichtet; zusätzlich werden Sonderabfälle mit einem kommunalen Schadstoffmobil erfasst. Privatpersonen und Kleingewerbetreibende aus Stadt und Landkreis können kostenlos Wertstoffe (außer DSD-Material), Sonderabfälle und Sperrmüll in haushaltsüblichen Mengen abgeben. Für größere Mengen werden Entsorgungsgebühren verlangt. Der Wertstoffhof ist von Montag bis Freitag von 7 bis 12 Uhr und von 13 bis 17 Uhr, am Samstag von 8 bis 14 Uhr geöffnet.

Für die Selbstanlieferung von Grünabfällen bis 1 m³ steht ein kommunaler Kompostplatz zur Verfügung.

Stadt S11

Ergänzend zum flächendeckenden Netz an Wertstoffinseln sind zwei Wertstoffhöfe vorhanden; sie werden nicht von der öffentlichen Hand betrieben.

An dem einen Wertstoffhof (Betreiber: ortsansässiger Entsorger) können neben Grünschnitt und Haushaltsgeräten (Elektroaltgeräte) unterschiedliche Wertstoffe (z. B. PPK, Metalle, Glas) in haushaltsüblichen Mengen kostenlos abgegeben werden. In den Sommermonaten ist der Wertstoffhof von Montag bis Freitag von 9 bis 18 Uhr und am Samstag von 10 bis 12 Uhr geöffnet; im Winter wird der Wertstoffhof von Montag bis Freitag bereits um 17 Uhr geschlossen.

In dem anderen Wertstoffhof einer karitativen Einrichtung können die Bürger Sperrmüll, Elektroaltgeräte, Altkleider, Holz und Bücher kostenlos abgeben. Gebrauchsfähige Gegenstände werden aussortiert und einem Gebrauchtwarenmarkt zugeführt. Die Öffnungszeiten sind montags bis freitags 9 bis 18 Uhr und samstags 9 bis 16 Uhr.

Die Problem Müllsammelstelle in der Stadt nimmt Sonderabfälle und Elektro-/Elektronikaltgeräte montags bis donnerstags von 8 bis 17 Uhr, freitags von 8 bis 13 Uhr an.

Auf einer im Stadtgebiet liegenden Bauschuttdeponie können nicht brennbarer Bauschutt, Gartenabfälle bis 1 m³, Metallschrott und PPK bis 1 m³ kostenlos angeliefert werden. Die Öffnungszeiten lauten von Montag bis Freitag (außer Mittwoch) von 9 bis 17 Uhr. Zwischen März und Oktober ist an diesen Tagen bis 18 Uhr sowie samstags von 9 bis 13 Uhr geöffnet.

4.3.3 Entsorgungsgebühren

Die Höhe der Abfallentsorgungsgebühren richtet sich in allen drei Gebietskörperschaften nach dem Fassungsvermögen, der Anzahl und dem Entleerungsturnus der Restmülltonnen; die Kosten für die Bioabfall- und PPK-Sammlung als auch für die zwei Mal pro Jahr kostenlose Sperrmüll-Entsorgung sind in diesen Gebühren enthalten.

Die Abfallgebühren unterscheiden sich in den drei Gebietskörperschaften ganz beträchtlich voneinander, wie ein Vergleich am Beispiel der 120 l-, 240 l- und 1.100 l-Behälter (14-tägige Restmüllabfuhr) in Abbildung 8 zeigt. So beträgt der Unterschied zwischen den Städten S9 und S10 bei dem 120 l-Behälter +20,6 %, bei dem 240 l-Behälter +15,1 % und bei dem 1.100 l-Behälter -0,7 %. Zwischen den Städten S9 und S11 ist der Unterschied noch deutlicher ausgeprägt: 120 l- bzw. 240 l-Behälter +60,4 % bzw. +60,8 %, 1.100 l-Behälter +37,7 %.

In der Stadt S9 besteht die Möglichkeit einer gemeinsamen Nutzung von Abfallbehältern. So können Bürger, deren Grundstücke nebeneinander oder gegenüber liegen, eine so genannte „Nachbarschaftstonne“ sowohl für Restmüll als auch Bioabfälle beantragen. Die Restmüll-Nachbarschaftstonne wurde im Jahr 2010 von 2,4 % der Anschlusspflichtigen genutzt.

In der Stadt S10 lässt sich die Abfallentsorgungsgebühr bei Eigenkompostierung um 12,4 % bis 13,8 % reduzieren. Von diesem Angebot machten im Jahr 2010 11,6 % der Anschlusspflichtigen Gebrauch.

In der Stadt S11 wird Anschlusspflichtigen, die als Einzelperson ein anschlusspflichtiges Anwesen bewohnen, auf Antrag eine Ermäßigung gewährt (Einzelpersonengebühr). Ebenso ist zur Reduzierung der Müllgebühren eine gemeinsame Nutzung der Restmülltonne durch Nachbarn möglich.

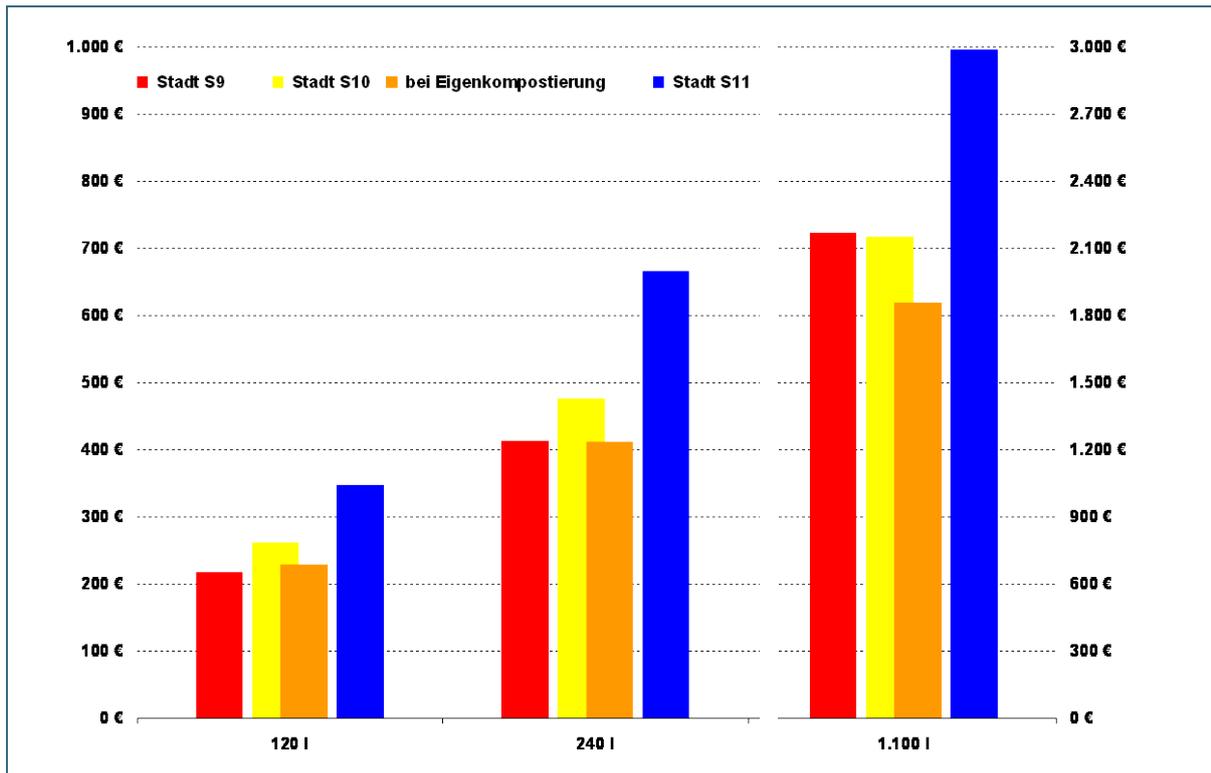


Abb. 8: Vergleich der jährlichen Gebührensätze für ausgewählte Restmüllbehältervolumina in den drei Gebietskörperschaften S9, S10 und S11.

Bei einem erhöhten Restmüllaufkommen sind in den drei Städten Restmüllsäcke in verschiedenen Größen (z. B. 50 l, 120 l) gegen eine Gebühr von 4,00 bis 5,00 € zu erwerben.

In der Stadt S9 werden zusätzlich für Gartenabfälle geeignete kompostierbare Säcke gegen Entrichtung einer Gebühr von 1,50 € zur Verfügung gestellt.

4.3.4 Kennzeichnung der Erfassungssysteme

Holsystem

Zur Erfassung von Restmüll, Bioabfall und PPK setzen alle drei Gebietskörperschaften genormte fahrbare Behälter ein [43, 44]. Die nicht einheitliche Farbgebung der Sammelbehälter ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tab. 5: Farbliche Kennzeichnung und Beschriftung der Abfallbehälter in den drei Gebietskörperschaften S9, S10 und S11.

Holsystem	Stadt S9	Stadt S10	Stadt S11
Restmüll	<ul style="list-style-type: none"> • schwarz – grau • grün mit blauem oder schwarzem Deckel (1.100 l) 	<ul style="list-style-type: none"> • schwarz – grau 	
Bioabfall	<ul style="list-style-type: none"> • grün 	<ul style="list-style-type: none"> • braun 	
PPK	<ul style="list-style-type: none"> • blau • blau mit rotem oder schwarzem Deckel (v. a. 1.100 l) 	<ul style="list-style-type: none"> • blau 	<ul style="list-style-type: none"> • blau • schwarz mit blauem Deckel
LVP	<ul style="list-style-type: none"> • gelb (Säcke, Behälter) 		
Beschriftung (Sprache)	<ul style="list-style-type: none"> • deutsch 		<ul style="list-style-type: none"> • deutsch • russisch • türkisch

Die Behälter sind an der Vorderseite oder am Deckel mittels Etiketten oder Schriftzügen im Siebdruck oder durch Formstanzen gekennzeichnet (siehe Abb. 9). Auf den DIN A2 bis DIN A4 großen Etiketten ist oftmals der in der jeweiligen Abfalltonne zu entsorgende Abfall als Piktogramm dargestellt; die Beschriftung der Behälter erfolgt mitunter mehrsprachig.



Abb. 9: Beispiele für die Kennzeichnung von Abfallbehältern in Form von Etiketten (Stadt S11, links) und durch Schriftzüge (Stadt S9, mitte). Mehrsprachiges Etikett im Detail (Stadt S11, rechts).

Damit nur systemkonforme Abfälle in die Wertstoffbehälter Bio-, PPK-Tonne und Gelber Sack/Gelbe Tonne kommen, sind die Behälter zusätzlich gekennzeichnet, z. B. mit Aufklebern in Form von Verbotsschildern und/oder Trennlisten (siehe Abb. 10).



Abb. 10: Beispiel (i) zur Kennzeichnung von Abfällen (E-Schrott, Batterien), die nicht in den betreffenden Behälter (Restmüll, Bioabfall, PPK) gehören (links), und (ii) einer Positiv/Negativ-Liste (rechts).

In den Städten S9 und S10 werden die Behälter für Restmüll und Bioabfälle auf der Vorderseite in erster Linie durch Etiketten (Kombination aus Piktogramm und Abfallfraktionsnamen) gekennzeichnet. Bei Papier findet sich die Variante Etikett oder Formstanzung. Eine Kennzeichnung der Behälterdeckel erfolgt meist nur bei der Papiertonne als eingestanzte Trennliste. Die Behälterbezeichnung (z. B. „Restmüll“, „Biotonne“) sowie die Trennliste sind einsprachig (deutsch) verfasst.

In der Stadt S11 werden für die Kennzeichnung der Restmüll- als auch der Bio- und PPK-Tonne Etiketten genutzt. Die Deckel der Restmüll- sowie der beiden Wertstofftonnen sind mit einem Verbotsschild für E-Schrott und Batterien (siehe Abb. 10) versehen. Darüber hinaus sind die genannten Abfallbehälter mehrsprachig etikettiert (siehe Tab. 5 bzw. Abb. 9, rechtes Bild).

Bringsystem

Glas (Behälterglas, farbgetrennt) und Metalle (Stadt S10) werden an Wertstoffinseln über sogenannte Depotcontainer, meist in Form von IGLU[®]-Sammelcontainern mit einem Fassungsvermögen von 1,0–5,0 m³ und Lärmschutzklassen I bis III (siehe Abb. 11) aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) oder voll durchgefärbtem, schlagfestem Polyethylen (HD-PE), erfasst.

Bei den in der Stadt S11 zusätzlich auf privatem Grund aufgestellten Wechselbehältern handelt es sich überwiegend um Mehrkammer-Depotcontainer aus Stahlblech mit einem Volumen von ca. 10–18 m³ (siehe Abb. 11, unten rechts).



Abb. 11: Beispiele für IGLU[®]-Sammelcontainer für (i) Weiß-, Grün- und Braunglas in der Stadt S9 (oben), (ii) Metall in der Stadt S10 (unten links) und (iii) Braunglas in der Stadt S11 (unten Mitte). Mehrkammer-Depotcontainer in der Stadt S11 (unten rechts).

Die eingesetzten IGLU[®]-Sammelcontainer sind nicht durchgehend gleich gekennzeichnet. Die Kennzeichnung erfolgt entweder über die Grundfarbe des Containers und Etikett (z. B. grüner Sammelcontainer für grünes Behälterglas) oder nur über das Etikett (siehe auch Abb. 11). Sie ist stets für den Bürger augenfällig und eindeutig. Die Beschriftungen der Sammelcontainer sind in deutsch abgefasst (vgl. Tab. 6). Vielfach beinhalten sie neben dem Namen der zu entsorgenden Abfallfraktion (z. B. „Altmittel“, „Braunglas“) eine Positiv/Negativ-Trennliste. Daneben sind die Einwurfzeiten sowie eine Hotline-Nummer angegeben. Piktogramme, zum Teil in Form von Verbotsschildern (Halteverbot, Stopp-Zeichen; siehe Abb. 11 unten Mitte) integriert, sind zusätzlich aufgeklebt.

Bei älteren Sammelcontainern finden sich oftmals Etiketten mit unterschiedlichen Kennzeichnungs-kombinationen, verursacht durch den Wechsel der Entsorgungsdienstleister oder den Ersatz von defekten Behältern.

Tab. 6: Farbliche Kennzeichnung und Beschriftung der Sammelcontainer in den drei Gebietskörperschaften S9, S10 und S11.

Bringsystem	Stadt S9	Stadt S10	Stadt S11
Glas	• grün (Grün-) • braun (Braun-) • hellgrau (Weißglas)		• grün (Mehrkammer) • beige (Einkammer)
Metall	(entfällt)	• rot	(entfällt)
Beschriftung (Sprache)	• deutsch		

4.3.5 Verwertungswege ausgewählter Wertstofffraktionen

In Tabelle 7 sind die recherchierbaren Verwertungswege für Bioabfälle/Grüngut, PPK, Glas und Metalle dargestellt. Die Bioabfallverwertung erfolgt in den drei Gebietskörperschaften relativ ortsnah mit einem verstärkten Trend zur Vergärung, um auch das energetische Potenzial des Bioabfalls zu nutzen. In welchen Papierfabriken (in oder außerhalb Bayerns) das Altpapier verwertet wird, konnte nicht ermittelt werden. Das Gleiche gilt für das Altglas der Stadt S10.

Tab. 7: Verwertungswege ausgewählter Wertstofffraktionen in den drei Gebietskörperschaften S9, S10 und S11.

Wertstoff	Stadt S9	Stadt S10	Stadt S11
Bioabfälle/ Grüngut	¼ des Aufkommens: Kompostierung ¾ des Aufkommens: Vergärung {Verwertung von Strom, Wärme und Gärrest (RAL- Gütezeichen)}	¼ des Aufkommens: Vergärung (Verwertung von Strom und Wärme) ¾ des Aufkommens: Kompostierung	Kompostierung Künftig: Vergärung (Verwertung von Strom, Wärme und Gärrest)
PPK	Papierproduktion	Papierproduktion	Papierproduktion
Glas	Glasproduktion (Thüringen)	Glasproduktion	Glasproduktion (Bayern)
Metalle	(entfällt)	Metallverarbeitung (Bayern)	(entfällt)

4.4 Analytik

4.4.1 Analysenstoffgruppen

Die bisher vom BayLfU angewandte Untersuchungsmethodik [13, 14] wurde beibehalten: Unter Berücksichtigung stofflicher Ähnlichkeiten wurden die 41 Sortierfraktionen (siehe Tab. A-1) zu 18 Analysenstoffgruppen (ASG) – wie in Tabelle A-2 im Anhang dargestellt – zusammengefasst. In diesem Vorhaben wurden ausschließlich die Analysenstoffgruppen Glas, Kunststoffverpackungen inkl. Folien, Organik, PPK und Verbundverpackungen untersucht, siehe Tabelle 8. Diese beinhalten Wertstoffe, die in den drei Gebietskörperschaften im Hol- und Bringsystem getrennt erfasst werden.

Tab. 8: Analysenstoffgruppen (in alphabetischer Reihenfolge) mit zugehörigen Sortierfraktionen und Anzahl der Proben je Analysenstoffgruppe.

Analysenstoffgruppe (ASG)	Sortierfraktionen	Anzahl der Proben				
		Restabfall	Bioabfall	PPK	LVP	Glas
Glas	Behälterglas (weiß, grün, braun)	5	–	–	–	6
Kunststoffverpackungen inkl. Folien	Kunststoffverpackungen Kunststofffolien (Verpackungen) Folien (keine Verpackungen)	6	–	–	6	–
Organik	Gartenabfälle Küchenabfälle Sonstige organische Stoffe	15	17	–	–	–
Papier, Pappe, Kartonagen	Druckerzeugnisse + Papier groß Papier- und Karton-Verpackungen Sonstiges Papier Sonstige Kartonagen Kleinpapier	6	–	6	–	–
Verbundverpackungen	Verbundverpackungen	14	–	–	17	–
Gesamt		46	17	6	23	6

Diese fünf ASG wurden bei jeder Sortierkampagne zum einen aus den entsprechenden Wertstoff-Sammelsystemen (Bio-, Papiertonne, Gelber Sack/Gelbe Tonne, Glascontainer) gezogen. Zum anderen wurden Vergleichsproben dem sortierten Restabfall entnommen, um einen eventuellen Einfluss des Restmülls auf diese Sekundärrohstoffe festzustellen. Für jede untersuchte Analysenstoffgruppe resultieren jeweils sechs Proben aus den Sammelsystemen und aus dem Restabfall.

Die ASG Organik und Verbundverpackungen wurden aufgrund ihrer Heterogenität bei einer Sortierkampagne vermehrt beprobt: So wurden sowohl aus der Biotonne bzw. dem Gelben Sack/der Gelben Tonne als auch aus dem sortierten Restabfall jeder Gebietsstruktur mindestens drei Mischproben (gebildet aus mindestens neun Einzelproben aus den 120 I-Sortierbehältern) entnommen.

Der Wertstoff Metall blieb aufgrund eingeschränkter Aufbereitungstechniken bei der physikalisch-chemischen Analyse unberücksichtigt.

4.4.2 Probenahme

Die Probenahme der Analysenstoffgruppen (ASG) erfolgte nach den Vorgaben der LAGA PN 98 [45].

Nachdem es sich bei dem Untersuchungsgut um Siedlungsabfälle mit großer Heterogenität bzw. Stückigkeit (häufig Korngrößen > 120 mm) handelt, wurden Einzel- bzw. Mischproben nach der Klassierung und Sortierung einer 1,1 m³ Stichprobeneinheit (SPE) und der Verwiegung sämtlicher Sortierfraktionen in Anlehnung an [45] entnommen. Dabei richten sich die Anzahl und das Volumen der Einzel- und Mischproben sowohl nach dem Volumen als auch nach der Stückigkeit bzw. Korngröße der Sortierfraktion.

Für jede untersuchte Analysenstoffgruppe wurden mindestens drei Einzelproben aus den in 120 l-Behältern gesammelten Sortierfraktionen gezogen und diese – sofern möglich – bis zu ihrer Weiterverarbeitung vor Ort (= Probenvorbehandlung) in lichtundurchlässigen Kunststoffsäcken aufbewahrt. Die ASG Organik sowie die aus dem Restabfall stammenden ASG Glas und Kunststoffverpackungen (enthalten oftmals größere Anteile an Organik) waren von diesem Vorgehen ausgenommen: Hier wurden die Proben täglich nach der Entnahme sofort aufbereitet.

Die Sortierfraktionen wurden unter Einhaltung der Arbeitsschutzvorschriften mehrfach möglichst repräsentativ beprobt. Die Mittelfraktion wurde nach der Verwiegung nach Batterien untersucht; Stückzahl und Gewicht der Batterien wurden notiert.

Die Probenvorbehandlung vor Ort als auch im Labor wurde für die Restmüll- und Wertstoff-Analysenstoffgruppen in gleicher Weise durchgeführt [13, 14].

4.4.3 Untersuchungsparameter

Jede Analysenstoffgruppe wurde auf die physikalisch-chemischen Summenparameter Wassergehalt, Glühverlust und Heizwert (außer: Glas) untersucht. Diese Grundcharakterisierung wurde durch die Bestimmung der Elementgehalte (Aluminium, Arsen, Blei, Cadmium, Calcium, Chlor, Chrom, Eisen, Kalium, Kupfer, Magnesium, Mangan, Natrium, Nickel, Phosphor, Schwefel, Silizium, Titan, Zink und Zinn) ergänzt.

Die Ermittlung der Analysendaten erfolgt in der Regel durch Dreifachbestimmungen. Folgende Analysemethoden wurden eingesetzt:

Der **Wassergehalt** wurde nach DIN 38 414-22 mittels Gefriertrocknung ermittelt. Flüchtige Substanzen weisen bei dieser Methode gegenüber einer konventionellen Trocknung bei 105 °C nach DIN 38 414-2 deutlich geringere Verluste auf.

Die Bestimmung des **Glühverlustes** erfolgte gemäß DIN 38 414-3 durch Glühen der Proben bei 550 °C im Muffelofen.

Der **Heizwert** wurde entsprechend DIN 51 900 aus dem mit einem Kalorimeter bestimmten Brennwert, der berechneten Kondensationswärme (mit Hilfe des Elementgehalts von Wasserstoff) und den berechneten Lösungswärmen der gebildeten Schwefel- und Salpetersäure (Schwefel und Stickstoff) ermittelt.

Die **Stickstoff-** und **Wasserstoff-Analysen** erfolgten mit einem Elementaranalysator durch vollständige Verbrennung der Probe, anschließende Bestimmung der Verbrennungsprodukte und Rückrechnung auf die Elementgehalte in der Feststoffprobe.

Gesamtkohlenstoff wurde mittels eines Kohlenstoff/Schwefel-Analysators bestimmt. In dem Analysensystem wird die Probe bei 1.450 °C verbrannt und die Verbrennungsgase durch Infrarotabsorption bestimmt.

Beim **anorganisch gebundenen Kohlenstoff** wird die Probe erwärmt und Phosphorsäure zugegeben. Der anorganisch gebundene Kohlenstoff wird als Kohlendioxid ausgetrieben und mittels Infrarotabsorption quantifiziert.

Die Differenz von Gesamt- und anorganisch gebundenem Kohlenstoff ergibt den **organisch gebundenen Kohlenstoff**.

Für die Ermittlung der Elementgehalte von **Aluminium, Arsen, Blei, Cadmium, Calcium, Chlor, Chrom, Eisen, Kalium, Kupfer, Magnesium, Mangan, Natrium, Nickel, Phosphor, Schwefel, Silizium, Titan, Zink und Zinn** wurde die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) benutzt.

4.4.4 Auswertung

Die Auswertung der Analysendaten beinhaltet Mittel-, Minimal-, Maximalwert und die Standardabweichung. Bei der Mittelwertbildung wurden Einzelwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze mit dem Wert der Bestimmungsgrenze in die Berechnung einbezogen.

Die Konzentrationsangaben beziehen sich auf die Trockenmasse der jeweiligen Analysenstoffgruppe (außer: Wassergehalt, bezogen auf Originalsubstanz).

5 Ergebnisse¹⁾

5.1 Abfalldaten

5.1.1 Restmüll

5.1.1.1 Aufkommen

Das ermittelte Restmüllaufkommen in den untersuchten Gebietskörperschaften liegt zwischen 98,7 und 109,6 kg/(E · a). Die geringe Bandbreite der Werte ist u. a. auf die ähnliche Abfallwirtschaftsstruktur in den Gebietskörperschaften zurückzuführen.

Der nach Einwohnern gewichtete Mittelwert aller drei Städte beträgt 104,8 kg/(E · a), siehe Abbildung 12. Damit liegt das Aufkommen um 2,6 % unter dem in den Jahren 1998 bis 2008 in 24 Sortieranalysen (17 Landkreise, 7 Städte) ermittelten bayerischen Durchschnittswert für Restmüll aus privaten Haushaltungen von 107,6 kg/(E · a) [23].

Die Abfallbilanz 2010 weist für Bayern als spezifisches Haus- und Geschäftsmüllaufkommen einen Wert von 146,2 kg/(E · a) aus [8, S. 57]; ausgehend von einem Geschäftsmüllanteil von ca. 30 Mass.-% [46, 47] resultiert ein spezifisches Restmüllaufkommen von 102,3 kg/(E · a). Gegenüber diesen Zahlen ist der o. g. Durchschnittswert um 2,4 % höher.

Differenziert nach den einzelnen Gebietsstrukturen steigt in den drei Städten das Abfallaufkommen (gewichtetes Mittel der drei Gebietskörperschaften) von Stadtrand- über städtische zu innerstädtischen Strukturen meist deutlich an. Dies ist an der Zunahme der einzelnen Sortierobergruppen (Ausnahme: Obergruppe Inertes Städtisch < Innerstädtisch < Stadtrand) – siehe Abbildung 13 – und damit des Gesamtaufkommens {Stadtrand: 77,1 kg/(E · a); Städtisch: 102,6 kg/(E · a); Innerstädtisch: 135,6 kg/(E · a)} erkennbar. Besonders ausgeprägt ist dieser Trend bei den im Holsystem zu erfassenden Obergruppen Organik, PPK und Kunststoffe, die in der Gebietsstruktur Stadtrand deutlich besser abgeschöpft werden als in den Gebietsstrukturen Städtisch und Innerstädtisch. In der Gebietsstruktur Stadtrand mit „wohneinheitsbezogenen“ Restmüllbehältern ist für den Bürger die Möglichkeit der Einsparung von Abfallgebühren durch kleinere Restmüllbehälter viel direkter gegeben als in den anderen beiden Gebietsstrukturen mit i. d. R. Sammelbehältern für eine Vielzahl von Wohneinheiten. Auch die Nähe der Wohneinheit zum Behälterstandort spielt in diesem Zusammenhang eine nicht zu vernachlässigende Rolle.

5.1.1.2 Zusammensetzung

Die prozentuale Restmüllzusammensetzung (gewichteter Durchschnitt der drei Städte; siehe Abb. 12) entspricht bis auf wenige Ausnahmen dem in den Jahren 1998 bis 2008 ermittelten bayerischen Durchschnitt [23]. Wie bei den vorangegangenen Untersuchungen [23] machen die beiden Klassierfraktionen Fein- und Mittelfraktion und die beiden Sortierobergruppen Organik und Hygieneprodukte nahezu zwei Drittel (61 Mass.-%) des Gesamtaufkommens aus.

Bei vier Obergruppen liegen nennenswerte Abweichungen vor: Die Feinfraktion weist einen vergleichsweise geringen Anteil auf (7,4 vs. 10,8 Mass.-%), während Holz (1,8 vs. 1,1 Mass.-%) sowie die Wertstoffe Kunststoffe (7,8 vs. 6,7 Mass.-%) und Glas (5,1 vs. 4,1 Mass.-%) überdurchschnittlich im Restmüll der drei Städte vorhanden sind.

Bei einer durchschnittlichen Einwohnerzahl der drei Städte von 100.178 bedeutet bereits die Zunahme z. B. eines Wertstoffs von einem Prozentpunkt in der Restmüllzusammensetzung, dass beim Wertstoffaufkommen 105 Mg pro Stadt und Jahr fehlen.

¹⁾ 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.

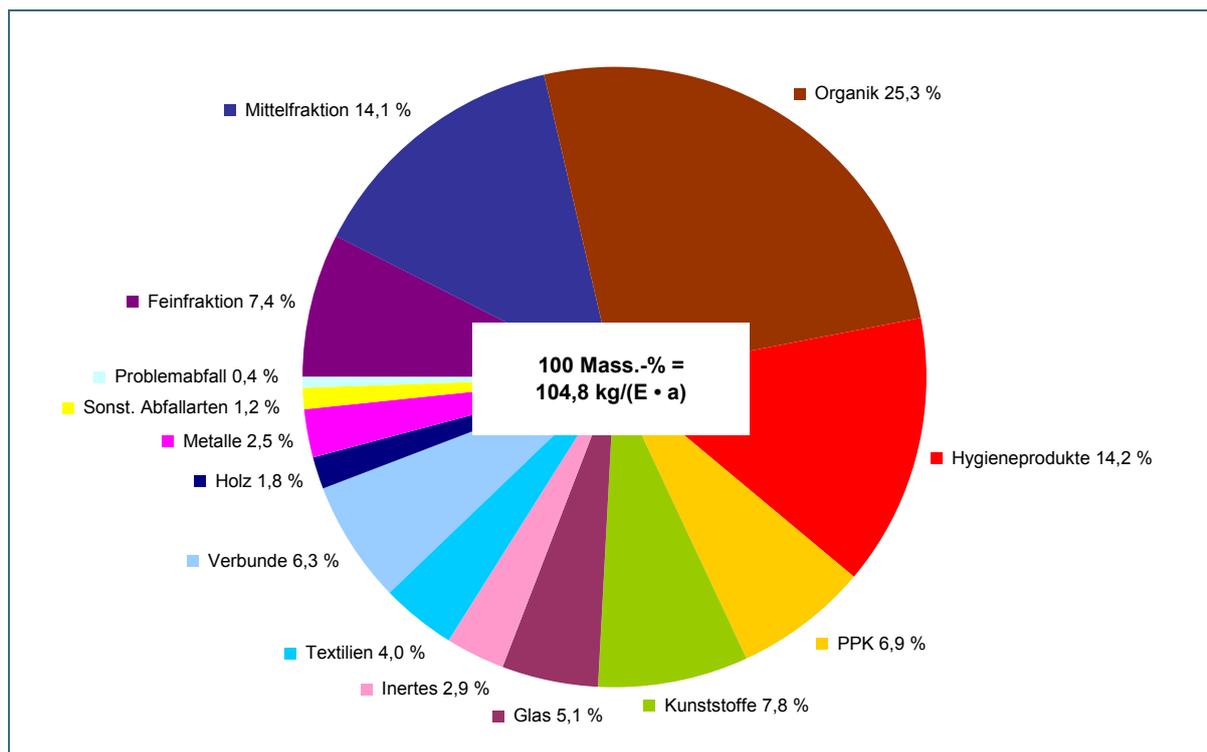


Abb. 12: Durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung und Gesamtaufkommen des Restmülls aus privaten Haushaltungen der untersuchten Gebietskörperschaften.

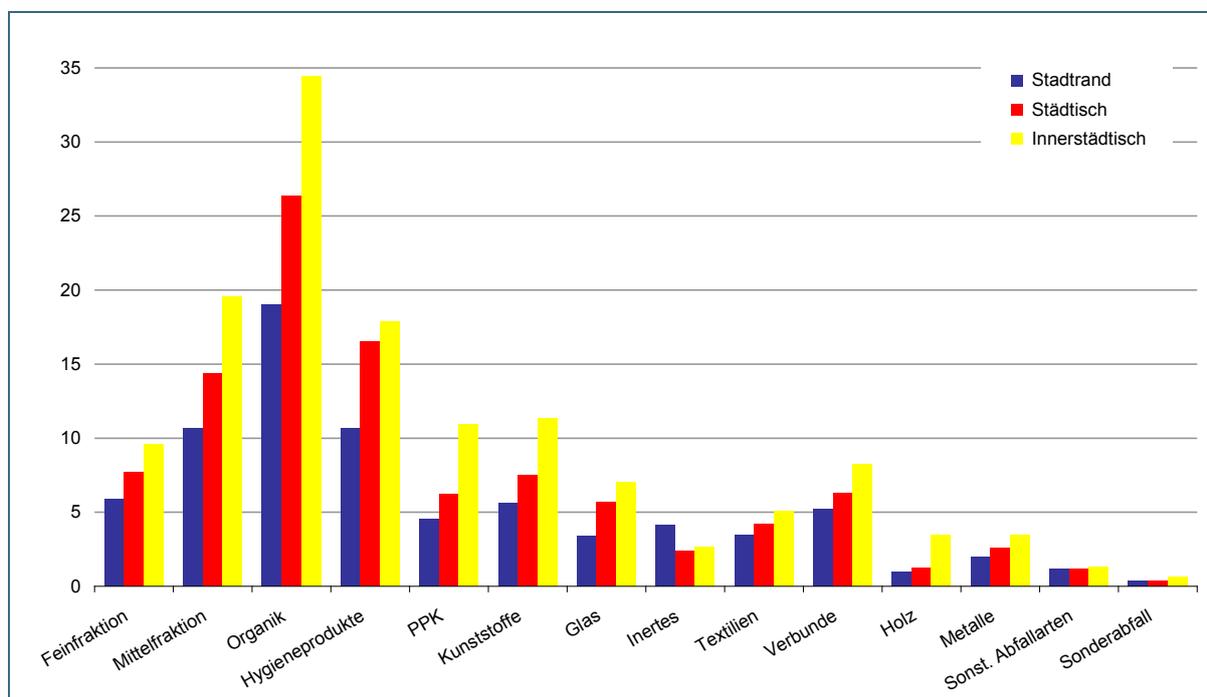


Abb. 13: Durchschnittliches Restmüllaufkommen in kg/(E · a), differenziert nach Sortierobergruppen und Gebietsstrukturen.

5.1.1.3 Maximales Wertstoffpotenzial

In Abbildung 14 sind das Restmüllaufkommen in den drei Städten sowie die jeweiligen Restmüllzusammensetzungen, unterteilt in nicht verwertbaren Restabfall (graues Kreissegment) und Wertstofffraktionen (restliche Kreissegmente; Zuordnung der Sortier- zu den Wertstofffraktionen gemäß Tab. 2 in Abschnitt 4.2.4), dargestellt.

Hinsichtlich des verbleibenden Wertstoffgehalts im Restmüll ähneln sich die drei untersuchten Gebietskörperschaften. Das maximale Wertstoffpotenzial im Restmüll liegt zwischen 68,4 und 73,6 kg/(E · a), entsprechend 66,9 bis 69,3 Mass.-% des Restmüllaufkommens.

Die Hauptanteile am Wertstoffpotenzial im Restmüll liefern die Wertstofffraktionen Organik, PPK, LVP und Glas, siehe Tabelle 9.

Tab. 9: Wertstoffpotenzial der vier Wertstofffraktionen Organik, PPK, LVP und Glas im Restmüll.

Wertstofffraktion	Anteil am Restmüll [Mass.-%]	Aufkommen [kg/(E · a)]			
		Wertstoffzuordnung		Minimum ¹⁾	Durchschnitt ¹⁾
		nach Tab. 2	nach [15]		
▪ Organik	40,0–45,5	41,2–48,2	24,3–28,4	10,0	18,2
▪ PPK	6,4–7,5	6,4–8,2		2,3	4,9
▪ LVP	6,2–7,4	6,8–7,6	7,9–9,5	3,0	7,0
▪ Glas	3,8–5,2	4,2–5,4		1,3	4,0

¹⁾ Daten für Hol- (Organik, PPK: jeweils 17 Gebietskörperschaften; LVP: 14 Gebietskörperschaften) bzw. Bringsysteme (Glas: 29 Gebietskörperschaften)

Trotz Getrenntfassung mittels benutzerfreundlicher Wertstoffholssysteme ist das im Restmüll verbleibende Wertstoffpotenzial in allen drei Städten vergleichsweise hoch. Frühere vom BayLfU durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass manche Gebietskörperschaften bei Hol- bzw. Bringsystemen deutlich niedrigere Restmüllgehalte erreichen, siehe die beiden letzten Spalten in Tabelle 9.

Gegenüber den aktuellen Auswertungen liegt den damaligen Daten eine andere Zuordnung der Sortierfraktionen zugrunde. In der Vergangenheit blieb bei dieser Betrachtung der Organikanteil der Mittelfraktion unberücksichtigt, da sich die i. d. R. feuchten Klassierfraktionen nachträglich durch einen zusätzlichen Verfahrensschritt schwer weiter auftrennen lassen. Für eine Betrachtung des Wertstoffpotenzials in Bezug auf Klimaschutzaspekte ist dieser Beitrag nicht zu vernachlässigen.

Unter dieser Maßgabe und bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Sortierempfehlungen der Gebietskörperschaften beinhaltet die Wertstofffraktion Organik sowohl den Organikanteil der Mittelfraktion als auch die Sortiergruppe Hygienepapiere. Zudem werden die Fe- und NE-Metallverpackungen (ehedem Bestandteil der Fraktion LVP) als eigene Wertstofffraktion ausgewiesen.

Der Grund für die o. g. Wertstoffpotenziale liegt u. a. an den in Städten vorherrschenden hohen Anteilen an städtischen und innerstädtischen Gebietsstrukturen. In diesen Gebieten ist aufgrund des gegenüber dem Stadtrand deutlich anonymen Umfelds der Anreiz zur Restmülleinsparung z. B. durch verbesserte Wertstoffabtrennung nur indirekt vorhanden. Dies führt zu einem erhöhten Restmüllaufkommen (siehe Abschnitt 5.1.1.1) inkl. Wertstoffanteilen. Dem kann bis zu einem gewissen Punkt durch eine intensiverte Abfallberatung begegnet werden.

Für die Stadt S11 wurde parallel zum Organikaufkommen das höchste Wertstoffpotenzial im Restmüll ermittelt. Ursache hierfür ist u. a., dass in der Innenstadt dieser Gebietskörperschaft kein Holsystem für Bioabfälle (Biotonne) angeboten wird. Die Bioabfälle sind ausschließlich über die Restmülltonne zu entsorgen, da eine Eigenkompostierung in der Innenstadt kaum möglich ist.

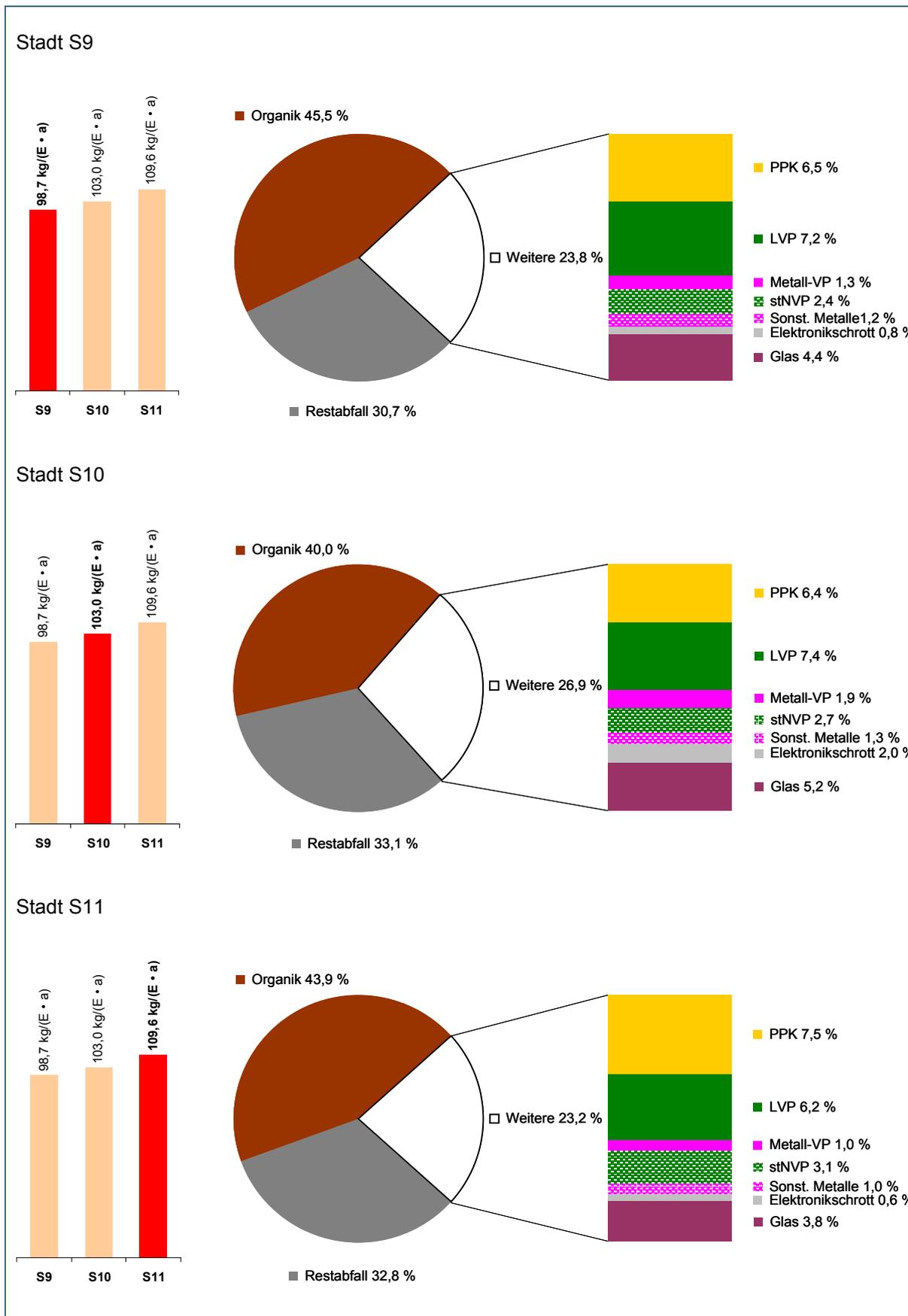


Abb. 14: Restmüllaufkommen (links) und prozentuale Restmüllzusammensetzung (rechts), unterteilt in Restabfall und Wertstofffraktionen, in den drei Städten S9, S10 und S11.

In den Städten S9 und S11 werden alle Metallverpackungen, in der Stadt S10 nur die NE-Metallverpackungen (Aluminiumverpackungen, -folien) über den Gelben Sack/die Gelbe Tonne erfasst; die Fe-Metallverpackungen (Weißblechverpackungen) werden im Bringsystem über Depotcontainer an den Wertstoffinseln gesammelt. Dementsprechend finden sich im Restmüll der Stadt S10 (teilweise Hol-, teilweise Bringsystem) mit $2,0 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ deutlich mehr Metallverpackungen als im Restmüll der anderen beiden Städte $\{1,1 \text{ bzw. } 1,3 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})\}$.

Metalle außer Metallverpackungen sind in den Städten S9 und S11 zu den Wertstoffhöfen zu bringen, in der Stadt S10 stehen zusätzlich die Depotcontainer an den Wertstoffinseln zur Verfügung. Auf das Metallaufkommen im Restmüll wirkt sich diese benutzerfreundlichere dezentrale Erfassung nicht aus; die Stadt S10 weist mit $1,3 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ einen geringfügig höheren Gehalt an Sonstigen Metallen im Restmüll auf als die anderen beiden Städte $\{1,1 \text{ bzw. } 1,2 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})\}$.

Das in allen drei Gebietskörperschaften über Depotcontainer an Wertstoffinseln gesammelte Behälterglas wird in der Stadt S10 am schlechtesten abgeschöpft. Das im Restmüll verbleibende Behälterglasaufkommen liegt in der Stadt S10 deutlich über dem in den anderen beiden Städten.

5.1.2 Bio- und Grünabfälle

5.1.2.1 Aufkommen

Das Bioabfall- (und Grüngut-)Aufkommen, das in den drei Städten mittels Holsystem in der Biotonne erfasst wird, beträgt zwischen $93,6$ und $113,2 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ und liegt damit in gleicher Höhe wie das Restmüllaufkommen. Für die drei Gebietskörperschaften ergibt sich ein mittleres, gewichtetes Aufkommen von $104,5 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$, siehe Abbildung 15.

Laut Abfallbilanz 2011 liegt das Bioabfallaufkommen aller bayerischen Haushaltungen, die an ein Erfassungssystem für Bioabfall angeschlossen sind, bei durchschnittlich $69,5 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ [8, S. 38]. Demgegenüber ist der in den drei Städten ermittelte Wert deutlich höher (+50 %).

Während das Gesamtaufkommen in den drei Städten mit einer Bandbreite von $20 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ untereinander vergleichbar ist, differieren die Werte innerhalb der Städte zwischen den einzelnen Gebietsstrukturen stark. Im Unterschied zum Restmüll fällt das Aufkommen vom Stadtrand zum innerstädtischen Bereich deutlich ab. Während am Stadtrand das Bioabfallaufkommen (als gewichteter Mittelwert der drei Gebietskörperschaften) $174,0 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ beträgt, erreicht es in städtischen und innerstädtischen Strukturen durchschnittlich $75,1$ bzw. $60,2 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$.

Das Bioabfallaufkommen in den einzelnen untersuchten Städten (Gebietsstrukturen) ist in Abbildung 16–18 dargestellt. In allen drei Gebietskörperschaften werden im Stadtrandbereich die höchsten Massen an Bio- und Grünabfällen erfasst; der Maximalwert liegt in der Stadt S10 bei $208,8 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$. Das geringste Bioabfallaufkommen ist in den Städten S9 und S11 {hier auch Minimalwert von $41,1 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{a})$ } im innerstädtischen, in der Stadt S10 im städtischen Bereich. Der Wertebereich zwischen den Gebietsstrukturen einer Gebietskörperschaft ist mit dem Faktor 3,6 zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Aufkommen relativ groß; diese Aussage gilt für alle drei Städte.

5.1.2.2 Zusammensetzung

Die durchschnittliche Zusammensetzung der in der Biotonne erfassten Bio- (und Grün-)abfälle zeigt Abbildung 15. Generell prägen kleinteilige Inhaltsstoffe den Bioabfall. Ein Achtel des Bioabfalls hat eine Korngröße kleiner 10 mm (Feinfraktion), die Hälfte kleiner 40 mm (Fein- + Mittelfraktion); dieser Feinanteil besteht nahezu ausschließlich aus organischem Material (Gemüseschalen, Laub etc.). Die Sortierobergruppe Organik ($> 40 \text{ mm}$) macht weitere $42,7 \text{ Mass.-%}$ des Bioabfalls aus, so dass insgesamt fast 93 Mass.-% des Biotonneninhalts aus organischem Material besteht.

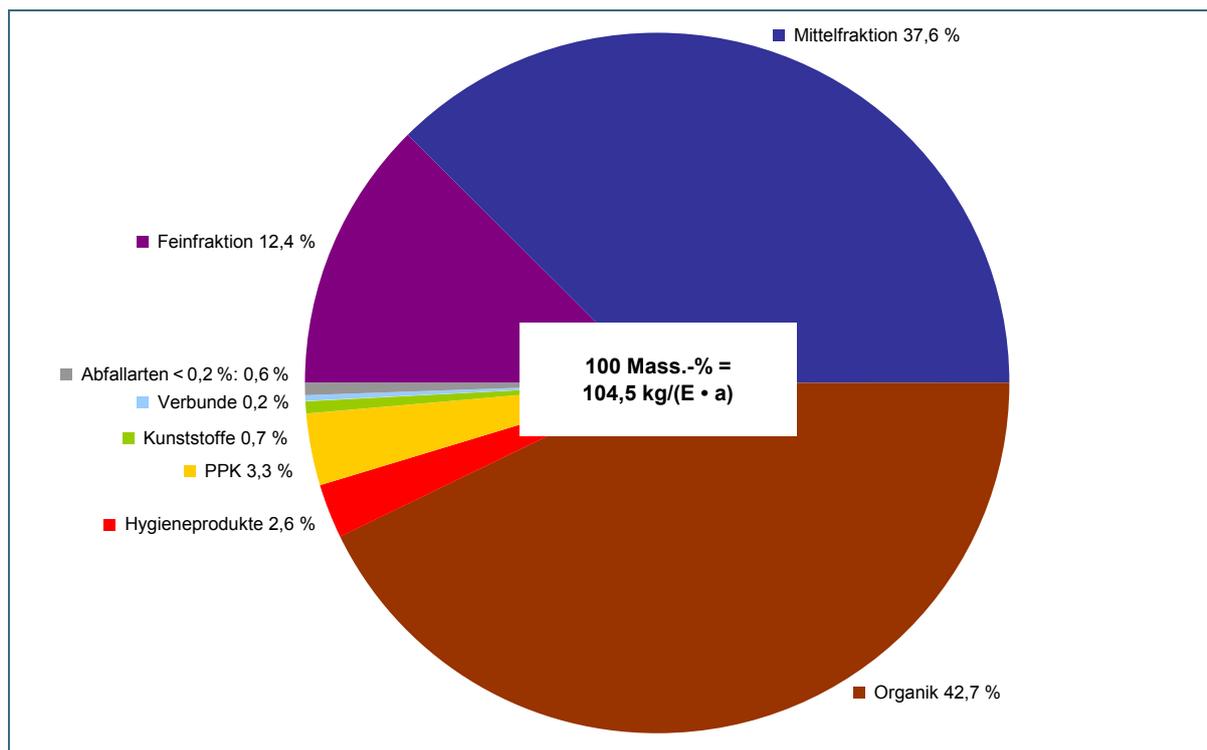


Abb. 15: Durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung und Gesamtaufkommen des Bioabfalls aus privaten Haushaltungen der untersuchten Gebietskörperschaften.

Ebenfalls kompostier- bzw. vergärbare Bestandteile wie Papier (als Küchenpapiere in der Sortierobergruppe Hygieneprodukte, ansonsten in der Sortierobergruppe PPK) liefern weitere 6 Mass.-% verwertbare Inhaltsstoffe. D. h., insgesamt 98,3 Mass.-% des Biotonneninhalts sind verwertbar und damit systemkonform.

Störstoffe im Bioabfall machen die restlichen 1,7 Mass.-% aus; sie gehören zur Hälfte der Sortierobergruppe Kunststoffe an (v. a. Kunststofftüten), die andere Hälfte wird von Verbunden und weiteren Sortierobergruppen mit einem Massenanteil von kleiner 0,2 Mass.-% gebildet.

Die Abbildung 16–18 stellt die Bioabfallzusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Inhaltsstoffe (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (weißes Kreissegment bzw. Säule), in den einzelnen Städten und Gebietsstrukturen dar. In allen drei untersuchten Gebietskörperschaften sticht der deutliche Anstieg des Gartenabfallanteils {bis zum Faktor 4,2 (Stadt S9)} parallel zum Bioabfallaufkommen hervor. Das Gartenabfallaufkommen steigt überproportional zur Gebietsstruktur Stadtrand an (Faktoren 9,6–15,3; maximaler Anstieg in der Stadt S9).

Der Anteil an Störstoffen in der Biotonne liegt in den einzelnen Gebietsstrukturen zwischen 0,8 und 4,9 Mass.-% (Stadt S9 Stadtrand bzw. Innerstädtisch). Er sinkt i. d. R. mit steigendem Bioabfallaufkommen (Ausnahme: der geringe Störstoffanteil in der innerstädtischen Struktur der Stadt S10). Als Störstoff ist vor allem Kunststoff zu nennen {bis zu 2,0 Mass.-% (Stadt S9 Innerstädtisch)}. Danach folgen Sonstige Hygieneprodukte {z. B. Windeln; bis zu 0,9 Mass.-% (Stadt S9 Innerstädtisch)} und Verbunde {bis zu 0,6 Mass.-% (Stadt S9 Innerstädtisch)}. Alle weiteren Störstoffe kommen mit Anteilen unter 0,2 Mass.-% in der Biotonne vor.

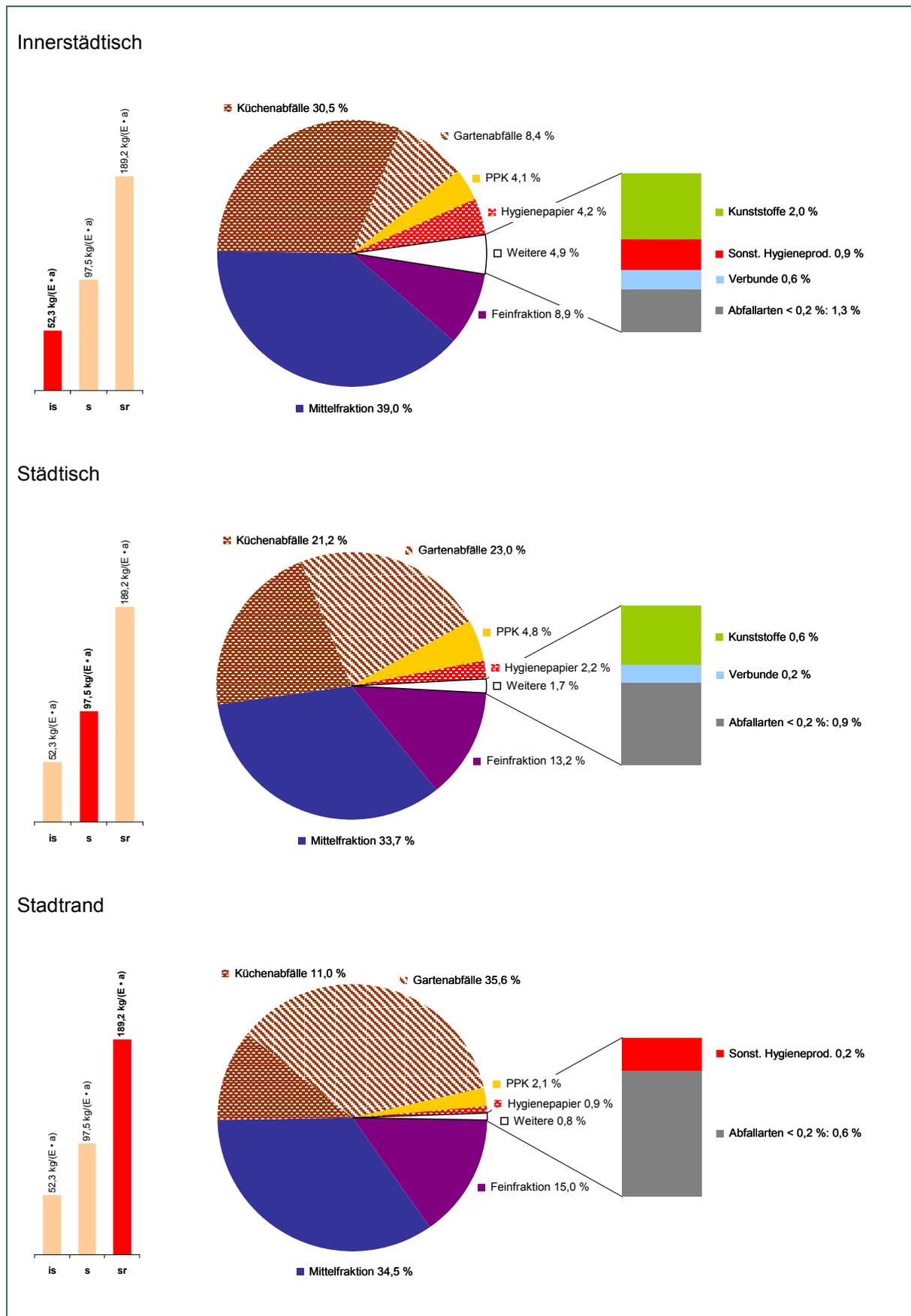


Abb. 16: Bioabfallaufkommen (links) und prozentuale Bioabfallzusammensetzung (rechts), unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, in der Stadt S9.

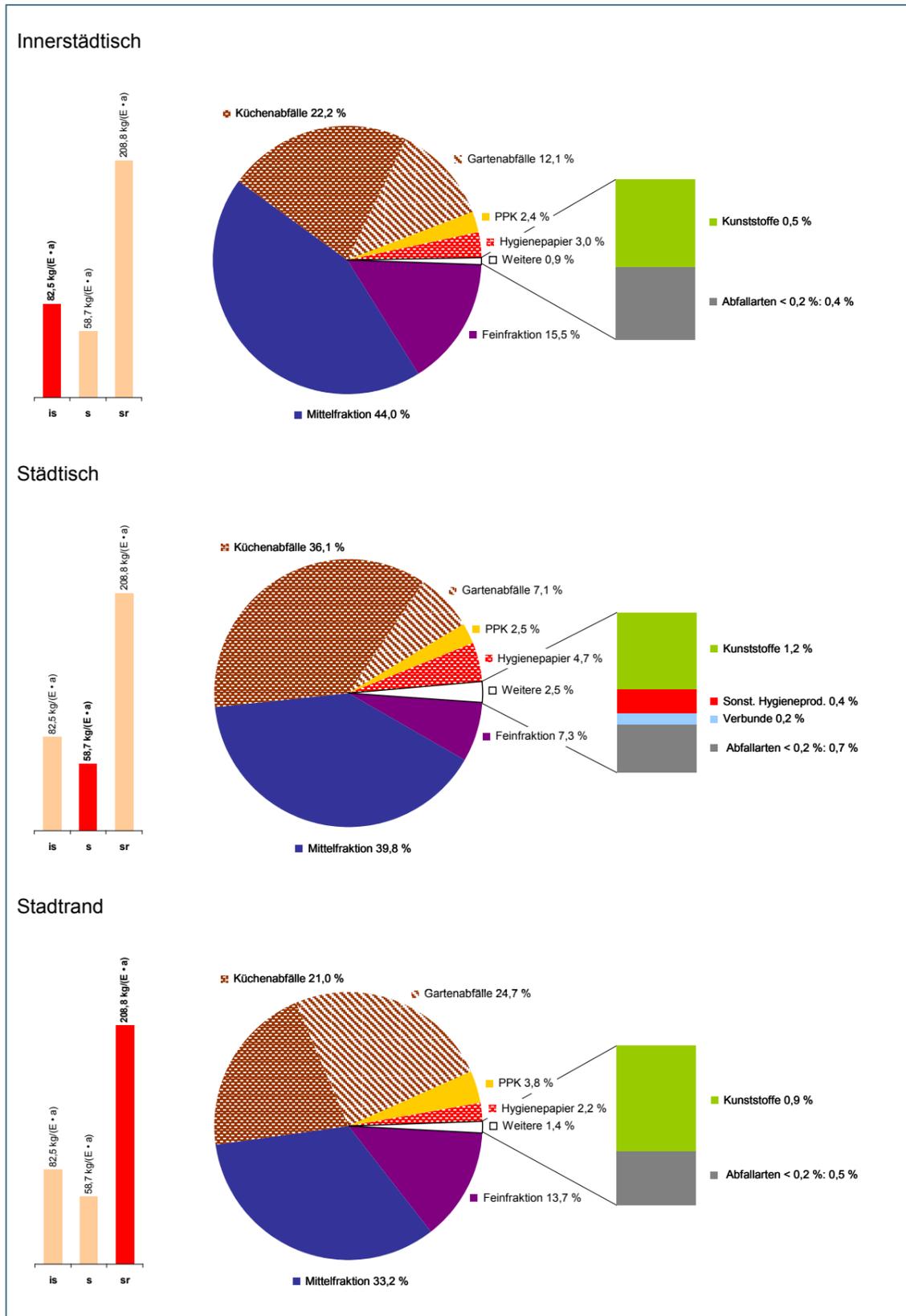


Abb. 17: Bioabfallaufkommen (links) und prozentuale Bioabfallzusammensetzung (rechts), unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, in der Stadt S10.

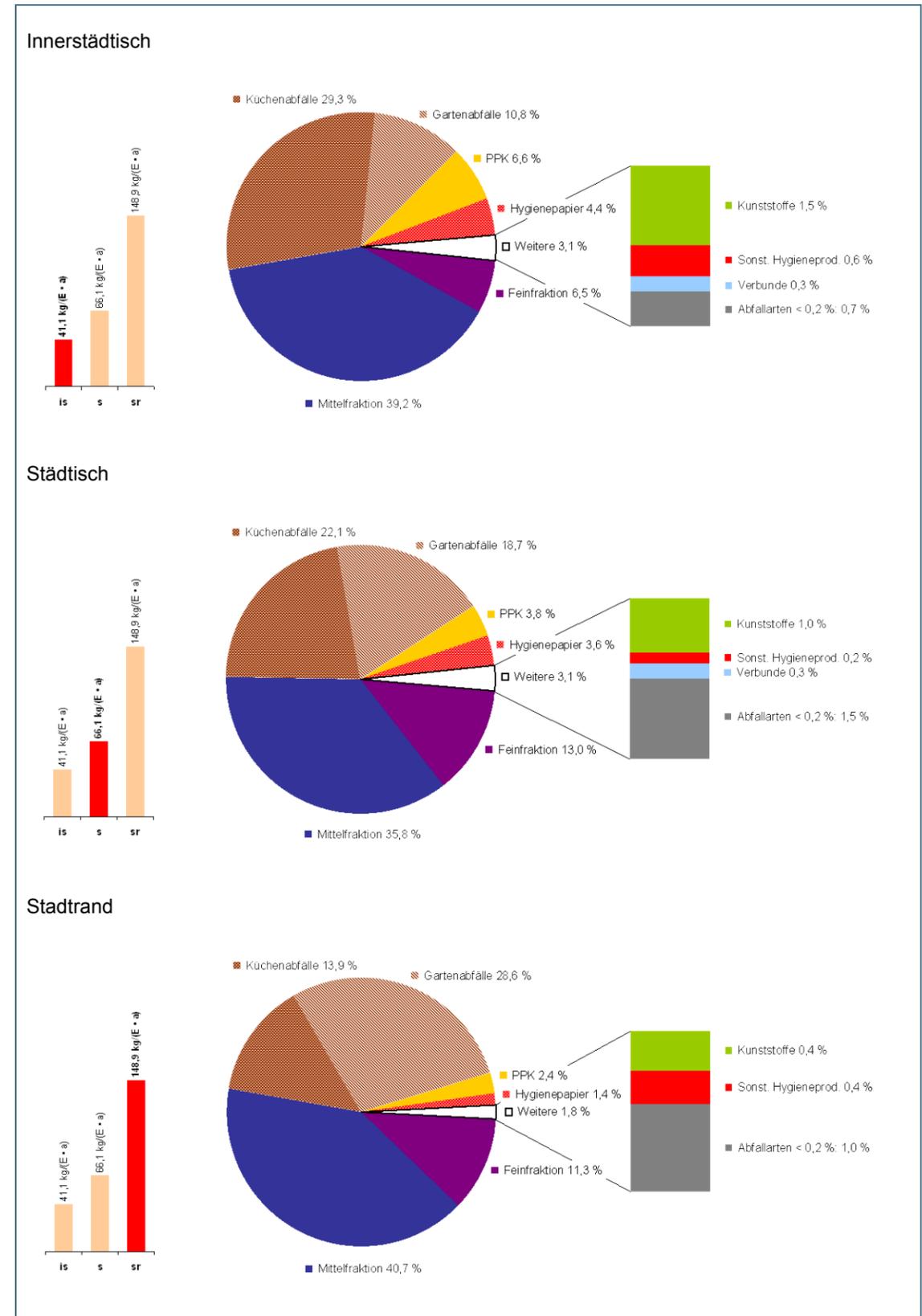


Abb. 18: Bioabfallaufkommen (links) und prozentuale Bioabfallzusammensetzung (rechts), unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, in der Stadt 11.

5.1.2.3 Vergleich Organikaufkommen Bio- vs. Restmülltonne

Die Verteilung des spezifischen Aufkommens an Organikabfällen (Grobfraktion) auf die Bio- bzw. Restmülltonne, gemittelt über die drei Gebietskörperschaften, zeigt Abbildung 19.

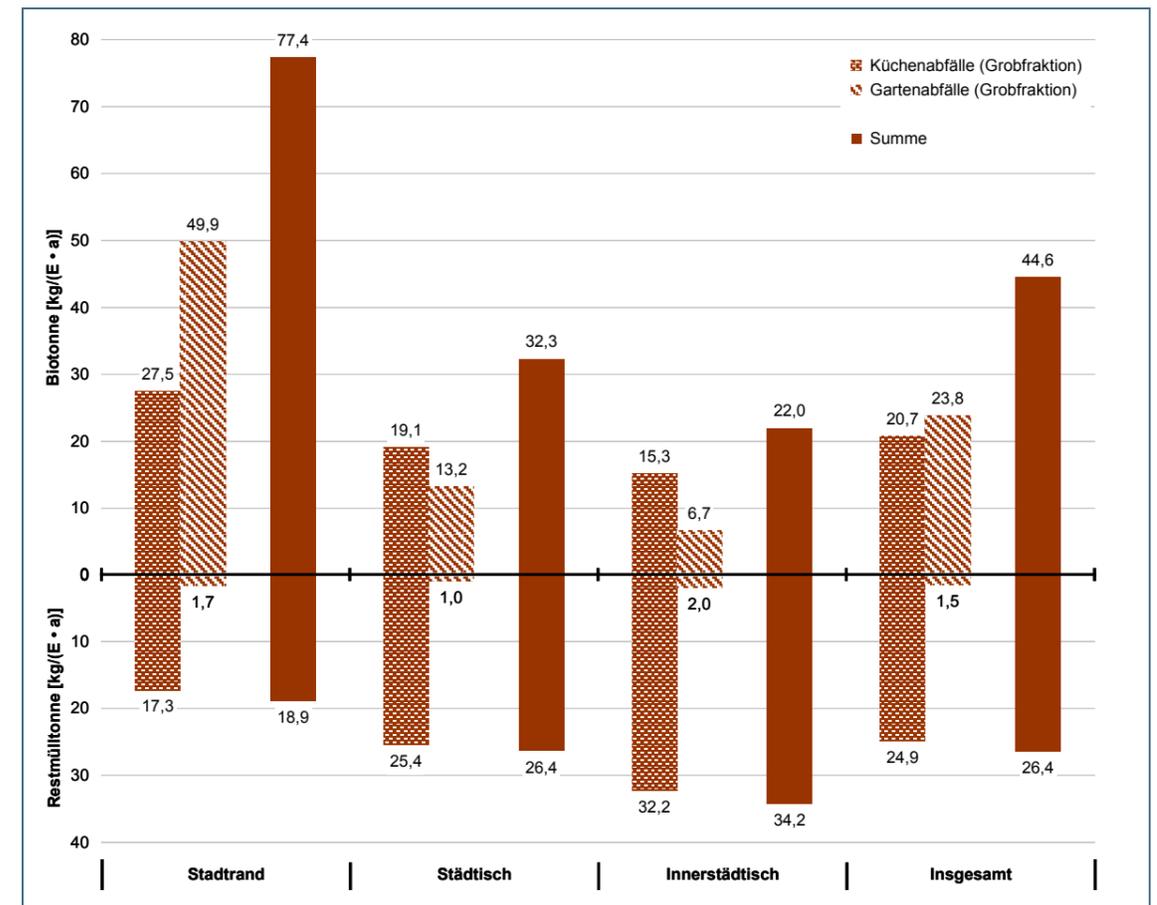


Abb. 19: Gegenüberstellung der Masse an Organikabfällen (Grobfraktion) – unterteilt in die Sortierfraktionen Küchen- und Gartenabfälle –, die über die Bio- und Restmülltonne (in den einzelnen Gebietsstrukturen, insgesamt) entsorgt werden.

Das Gesamtaufkommen an Küchenabfällen in Bio- und Restmülltonne ist in den einzelnen Gebietsstrukturen mit Werten zwischen 44,5 und 47,5 kg/(E · a) in etwa gleich. Pro Tag und Einwohner fallen im Mittel 125 g Küchenabfälle an, was bei einem Haushalt mit 2,2 Personen (Durchschnitt der drei Gebietskörperschaften) einer Abfallmasse von rund 275 g entspricht – bildlich ausgedrückt die Masse von 3½ mittelgroßen Kartoffeln.

Auffallend ist, dass die Getrennterfassung mit steigender Siedlungsdichte zurückgeht. Während in Stadtrandbereichen durchschnittlich 27,5 kg/(E · a) (entsprechend 61,4 Mass.-% der Küchenabfälle; siehe Abb. 20) mittels Biotonne abgeschöpft werden, sinken Aufkommen und Anteil in innerstädtischen Bereichen nahezu auf die Hälfte {15,3 kg/(E · a) bzw. 32,2 Mass.-%}. Ein Grund hierfür ist die größere Entfernung der Standplätze der Sammelbehälter (Biotonne) vom Ort des Abfallanfalls (Küche) in innerstädtischen Siedlungsstrukturen gegenüber Stadtrandstrukturen (Küche i. d. R. auf gleicher Ebene wie Biotonnenstandort). D. h., die Entsorgung von Küchenabfällen über die Biotonne ist in der Innenstadt mit wesentlich größerem (Zeit-)Aufwand für den Bürger verbunden als in Stadtrandbereichen.

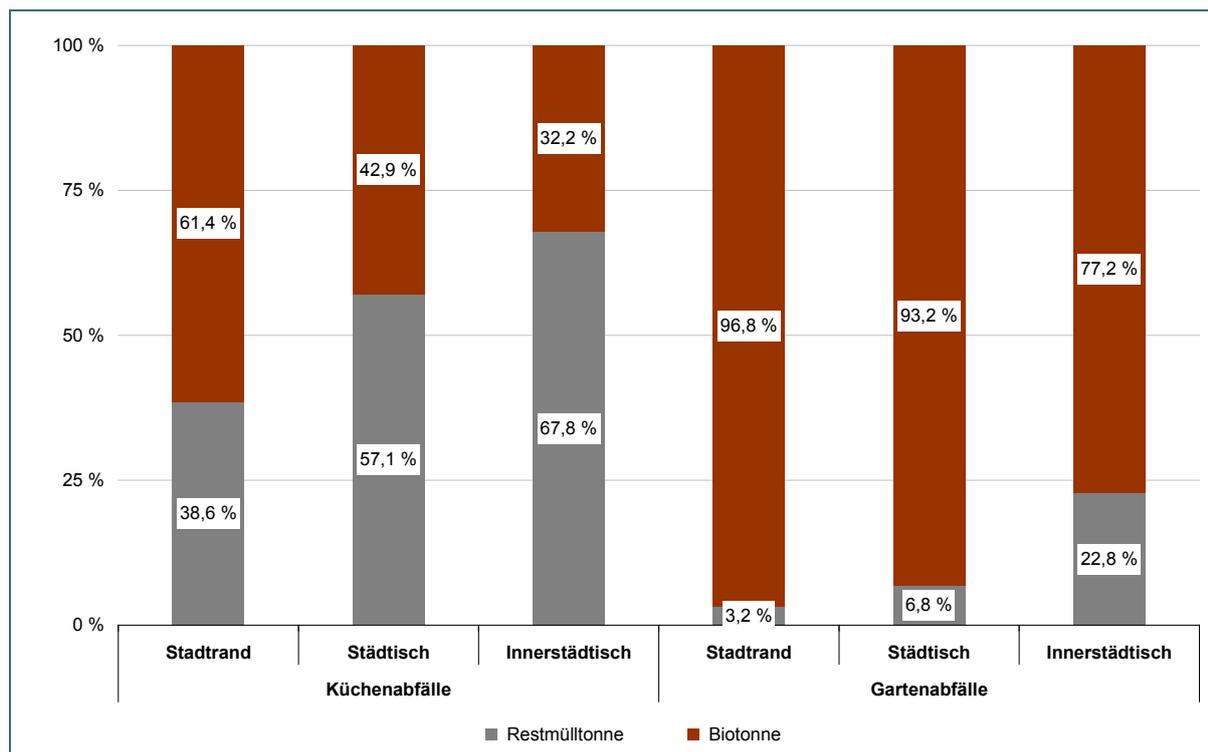


Abb. 20: Prozentuale Aufteilung des Abfallstroms Organik (Grobfraktion), unterteilt in Küchen- und Gartenabfälle, auf die Restmüll- und Biotonne.

Gartenabfälle fallen naturgemäß vorwiegend in Stadtrandgebieten an und werden dort zu 96,8 Mass.-% über die Biotonne erfasst. Das Gesamtaufkommen an Gartenabfällen (Bio- plus Restmülltonne) sinkt vom Stadtrand mit 51,5 kg/(E · a) zur Innenstadt mit 8,7 kg/(E · a) signifikant. Das Aufkommen in der Restmülltonne (z. B. Schnittblumen oder Topfpflanzen, die im Haushalt anfallen) ist mit Werten zwischen 1,0 und 2,0 kg/(E · a) in allen drei Gebietsstrukturen gering. Entsprechend hoch ist der Erfassungsgrad der Gartenabfälle mittels Biotonne: zwischen 96,8 und 77,2 Mass.-% (Innenstadt).

Die Daten belegen, dass die punktuell, in größeren Mengen anfallenden Gartenabfälle in den Gebietsstrukturen mit Abstandsgrün bzw. Vorgärten (Städtisch, Stadtrand) zu einem hohen Prozentsatz über die Biotonne erfasst werden. Ein Grund hierfür ist, dass der Bürger die Gartenabfälle direkt in die Biotonne einfüllt; dagegen werden die in vergleichsweise kleinen Mengen anfallenden Küchenabfälle in den Haushalten i. d. R. zunächst in einem Zwischenbehälter erfasst oder eben direkt in den Restmüll gegeben.

5.1.3 Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)

5.1.3.1 Aufkommen

Das in den untersuchten Gebietskörperschaften mittels Holsystem (Papiertonne) erfasste PPK-Aufkommen liegt zwischen 64,2 und 69,5 kg/(E · a). Aufgrund vergleichbarer Abfallwirtschaftssysteme liegen die Werte der drei Städte nahe beieinander. Der nach Einwohnern gewichtete Mittelwert der Gebietskörperschaften ergibt sich zu 67,2 kg/(E · a) (siehe Abb. 21).

Laut Bayerischer Abfallbilanz 2011 beträgt die einwohnerspezifische Altpapiermenge aus Haushalten in Bayern 82,3 kg/(E · a), in den städtischen Gebietskörperschaften 90,8 kg/(E · a) [8, S. 27]; im Vergleich dazu ist das durchschnittliche Aufkommen in den drei Städten um 18 bzw. 26 % geringer.

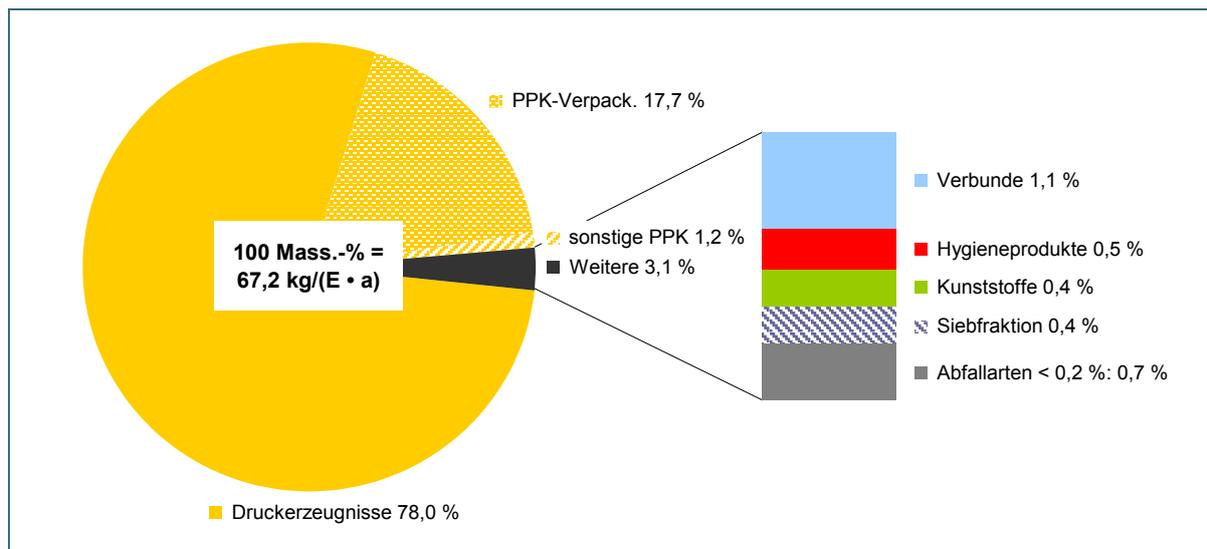


Abb. 21: Durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung und Gesamtaufkommen der PPK aus privaten Haushaltungen der untersuchten Gebietskörperschaften.

Während in den Städten S9 und S10 das PPK-Aufkommen unabhängig von der Siedlungsdichte ist, fällt in der Stadt S11 gegenüber dem innerstädtischen Bereich in Stadtrandgebieten fast doppelt so viel an PPK an {vgl. Abb. 24 (Stadt S11) mit Abb. 22 (S9) oder 23 (S10)}.

Bei der Mittelwertbildung über die drei Städte führt dies zu einem vermeintlich abnehmenden Trend mit steigender Siedlungsdichte:

In Stadtrandgebieten werden mit 74,2 kg/(E · a) am meisten PPK erfasst, in städtischen Gebieten mit 69,9 kg/(E · a) etwas und in innerstädtischen Gebieten mit 55,3 kg/(E · a) deutlich weniger. Diese Daten korrelieren positiv mit den über die drei Gebietskörperschaften gemittelten PPK-Gehalten im Restmüll (vgl. Abb. 13).

5.1.3.2 Zusammensetzung

Die mit der Papiertonne erfassten PPK bestehen zum überwiegenden Teil (durchschnittlich 78 Mass.-%) aus Druckerzeugnissen, siehe Abbildung 21. Den zweitgrößten Anteil mit 17,7 Mass.-% machen PPK-Verpackungen aus. Sonstige PPK tragen mit 1,2 Mass.-% unwesentlich zum PPK-Aufkommen bei. Insgesamt sind knapp 97 Mass.-% des Papiertonneninhalts systemkonforme Bestandteile.

Die restlichen 3,1 Mass.-% sind Störstoffe, die nicht in die Papiertonne gehören. Dabei handelt es sich insbesondere um Verbunde, die mit durchschnittlich 1,1 Mass.-% ein Drittel des Störstoffanteils ausmachen.

Die Anteile an Druckerzeugnissen und PPK-Verpackungen weisen in den einzelnen Städten und Gebietsstrukturen eine geringe Schwankungsbreite auf; nur in der Stadt S10 – städtische Struktur – ist der Anteil an Druckerzeugnissen mit 67,6 Mass.-% deutlich niedriger, während der Anteil an PPK-Verpackungen erhöht ist (26,2 Mass.-%). In Summe bilden Druckerzeugnisse und PPK-Verpackungen zwischen 93,2 und 97,7 Mass.-% der Masse des Papiertonneninhalts.

Der Anteil an Störstoffen liegt zwischen 1,3 und 6,1 Mass.-% (Stadt S9 Stadtrand bzw. S11 Innerstädtisch). Meist sind Verbunde die Hauptkomponente der Störstoffe, in jeweils einem Fall Hygieneprodukte (Stadt S11 Städtisch) bzw. Kunststoffe (Stadt S10 Innerstädtisch). Verbunde kommen bis zu 2,5 Mass.-% (Stadt S11 Innerstädtisch), Hygieneprodukte und Kunststoffe bis zu 1,0 Mass.-% (Stadt S10 Städtisch bzw. S11 Innerstädtisch) in der Papiertonne vor.

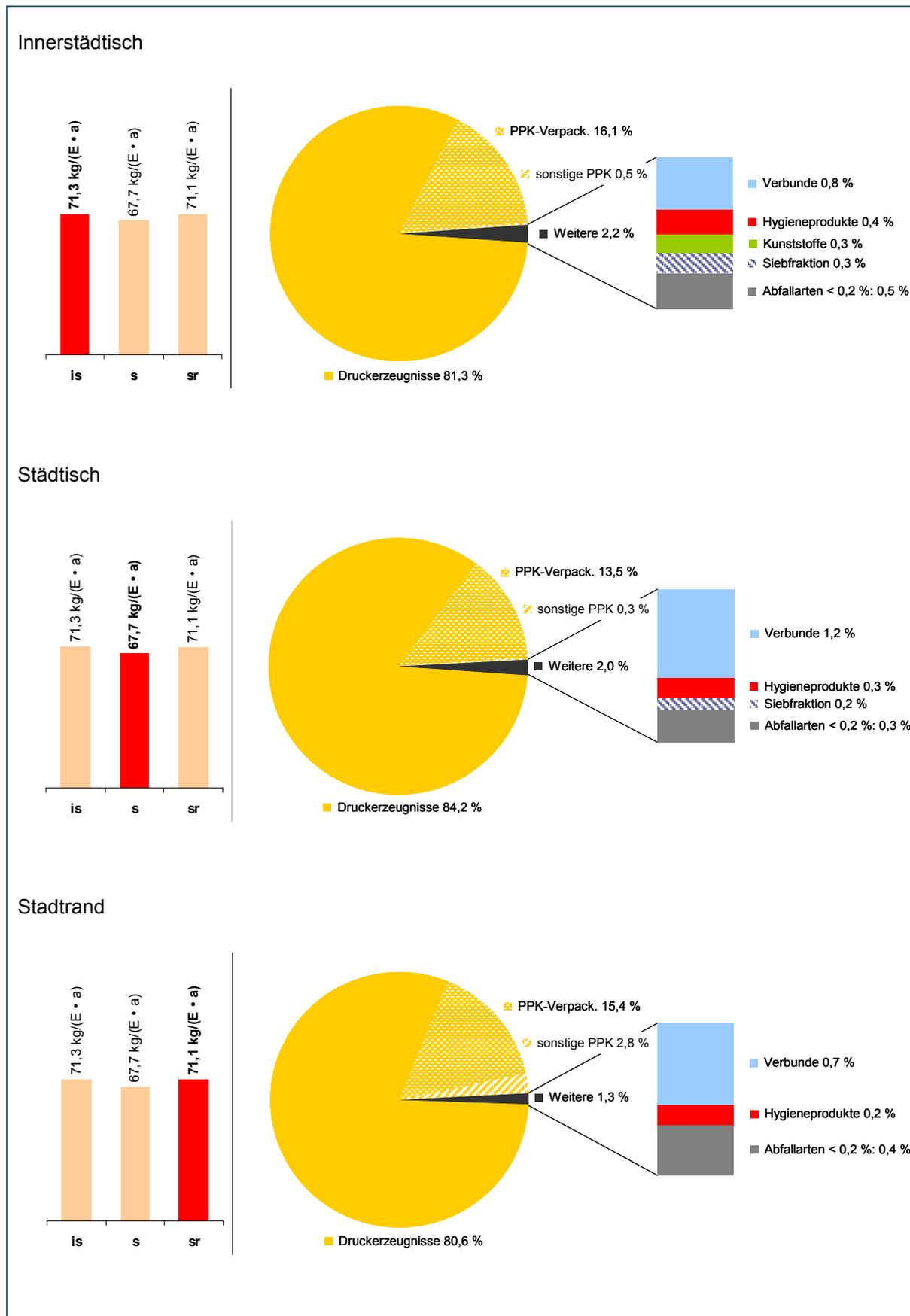


Abb. 22: PPK-Aufkommen (links) und prozentuale PPK-Zusammensetzung (rechts), unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, in der Stadt S9.

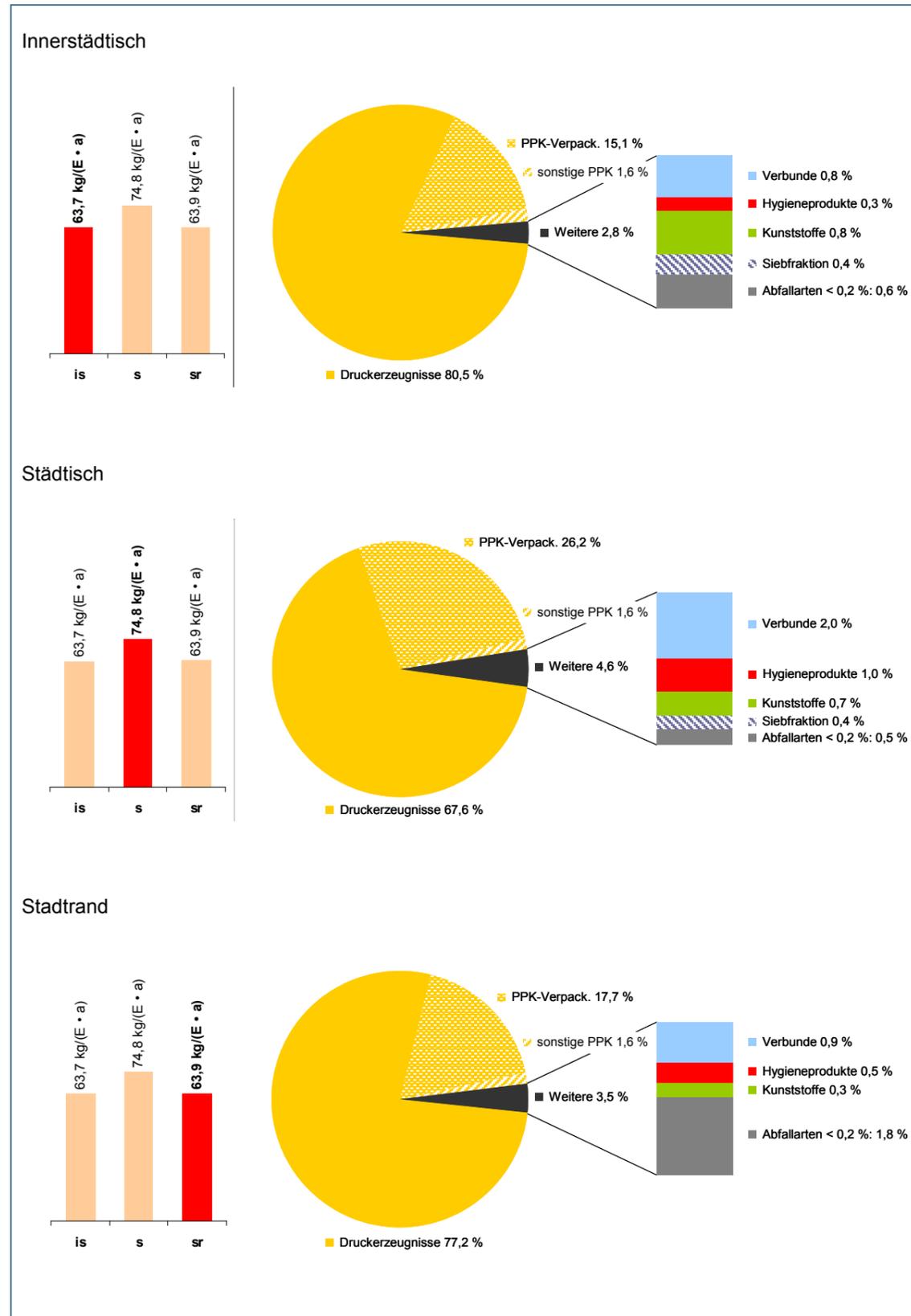


Abb. 23: PPK-Aufkommen (links) und prozentuale PPK-Zusammensetzung (rechts), unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, in der Stadt S10.

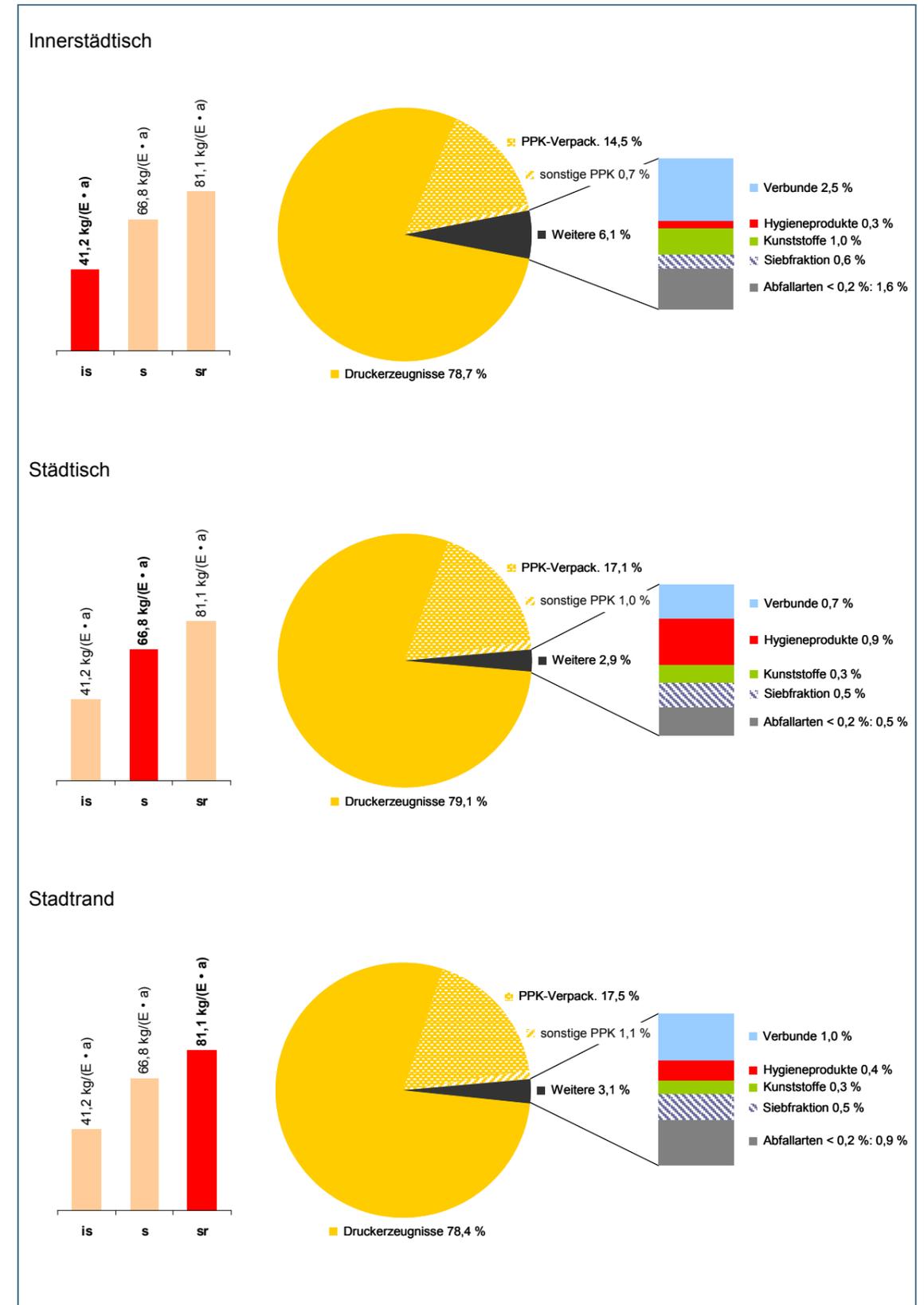


Abb. 24: PPK-Aufkommen (links) und prozentuale PPK-Zusammensetzung (rechts), unterteilt in systemkonforme Materialien und Störstoffe, in der Stadt S11.

5.1.3.3 Vergleich PPK-Aufkommen Papier- vs. Restmülltonne

Die Verteilung des PPK-Aufkommens auf die Papier- und Restmülltonne, gemittelt über die drei Gebietskörperschaften, ist anhand der beiden dominierenden Sortierfraktionen PPK-Druckerzeugnisse und -Verpackungen in Abbildung 25 dargestellt.

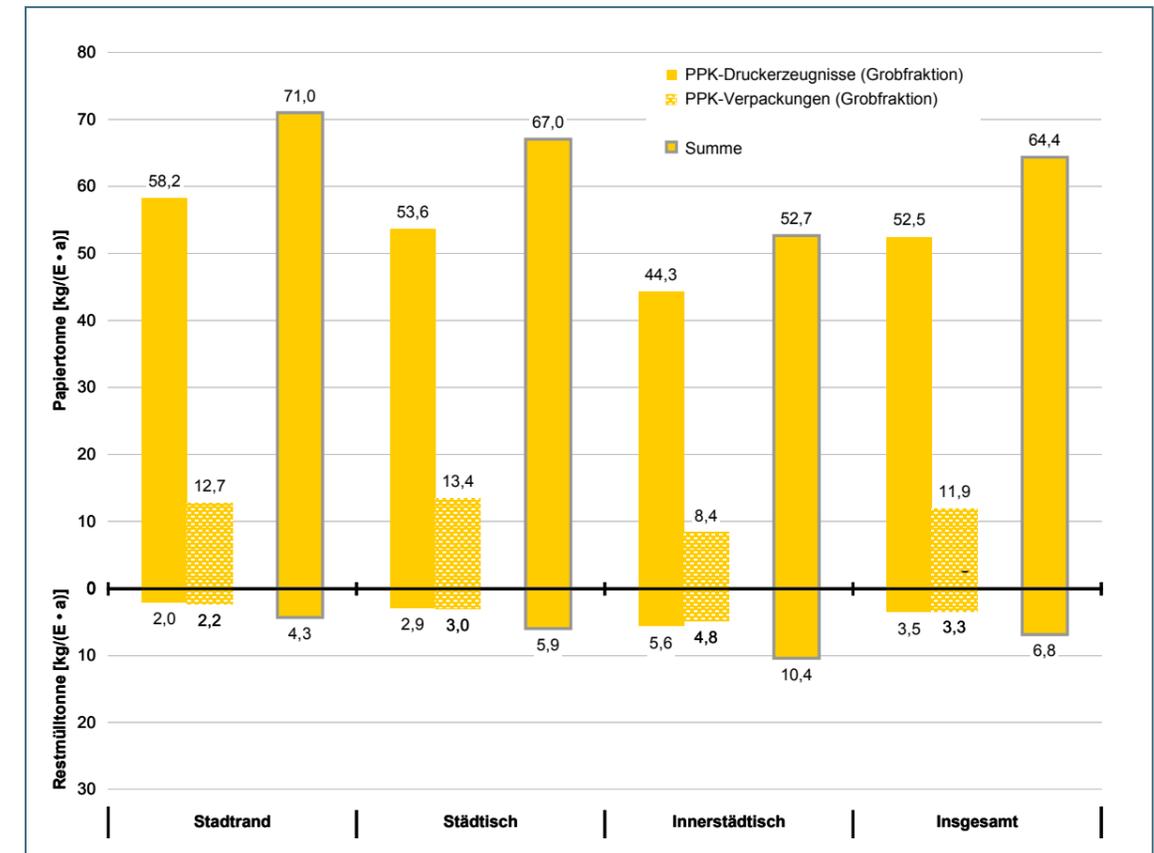


Abb. 25: Gegenüberstellung des PPK-Aufkommens (Grobfraktion) – aufgeteilt in die Sortierfraktionen PPK-Druckerzeugnisse und -Verpackungen – in der Papier- und Restmülltonne in den Gebietsstrukturen und insgesamt.

PPK werden größtenteils über die Papiertonne erfasst. Das in der Restmülltonne verbleibende Aufkommen von PPK-Druckerzeugnissen und -Verpackungen liegt bei einem Gesamtaufkommen von durchschnittlich 71,2 kg/(E·a) (alle Siedlungsstrukturen) bei 6,8 kg/(E·a); d. h., ca. 90 Mass.-% des Aufkommens werden im Schnitt über das Wertstoffholssystem abgeschöpft. Während in der Papiertonne deutlich mehr (Faktor 4–5,3) PPK-Druckerzeugnisse als -Verpackungen vorliegen, halten sich die beiden PPK-Sortierfraktionen in der Restmülltonne nahezu die Waage.

Das Gesamtaufkommen in Papier- und Restmülltonne ist in Stadtrand- und städtischen Gebieten mit 75,3 bzw. 73,0 kg/(E·a) nahezu gleich, in innerstädtischen Gebieten mit 63,1 kg/(E·a) geringer. Auch die mit der Papiertonne erfasste Masse an PPK-Druckerzeugnissen und -Verpackungen nimmt zur innerstädtischen Struktur ab, während das PPK-Aufkommen in der Restmülltonne ansteigt. Dementsprechend sinkt die Erfassungsquote für PPK von Stadtrand- zu städtischen Bereichen gering, von städtischen zu innerstädtischen Strukturen deutlicher (vgl. Abb. 26); sie liegt für PPK-Druckerzeugnisse mit Werten zwischen 96,6 (Stadtrand) und 88,8 Mass.-% (Innenstadt) grundsätzlich auf einem um mindestens 10 Prozentpunkte höheren Niveau als für PPK-Verpackungen (85,1 bis 63,5 Mass.-%).

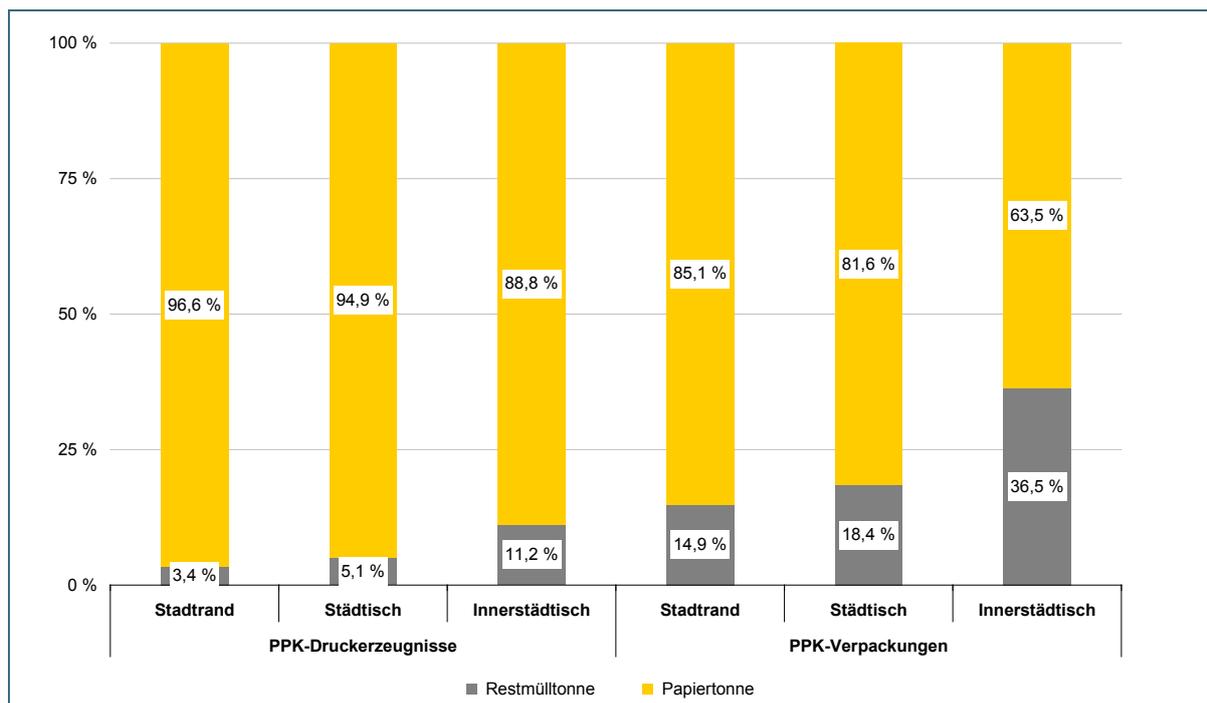


Abb. 26: Prozentuale Aufteilung des Abfallstroms PPK (Grobfraktion), unterteilt in PPK-Druckerzeugnisse und -Verpackungen, auf die Restmüll- und Papiertonne.

5.1.4 Leichtverpackungen (LVP)

5.1.4.1 Aufkommen

In den drei Gebietskörperschaften werden die Leichtverpackungen (LVP) im Holsystem über den Gelben Sack, in der Stadt S10 auch über die Gelbe Tonne erfasst.

Im Unterschied zu den anderen Holsystemen (Restmüll-, Bio-, Papiertonne) werden die Gelben Säcke oftmals nicht vor den jeweiligen Grundstücken, sondern mehrere Gelbe Säcke zusammen an geeigneten Stellen zur Abfuhr bereitgestellt (siehe Abschnitt 4.2.3). Daher ist bei der Sammlung der Gelben Säcke meistens keine Zuordnung zu den zugehörigen Wohneinheiten und damit Einwohnerzahlen möglich. Somit liefern die Untersuchungen Aussagen zur Zusammensetzung der LVP, aber keine Daten mit Einwohnerbezug.

5.1.4.2 Zusammensetzung

In dem/der Gelben Sack/Tonne sind wie im Restmüll grundsätzlich alle Obergruppen des Sortierkatalogs zu finden (siehe Abb. 27). Die Sortierobergruppe Kunststoffe, die auch die nicht systemkonformen stoffgleichen Nichtverpackungen (Fraktion Sonstige Kunststoffartikel) enthält, stellt mit durchschnittlich 53,1 Mass.-% den mit Abstand größten Anteil an den LVP. Die Obergruppen Verbunde und Metalle, die ebenfalls nicht systemkonforme Fraktionen {Verbunde: Elektronikschrott, Renovierungsabfälle, Fahrzeugteile, Staubsaugerbeutel, Sonstige Verbunde; Metalle: Fe-Metallverpackungen (nicht systemkonform in Stadt S10), Sonstige Metallteile} enthalten, machen zusammen weitere 27,3 Mass.-% der LVP aus. Die restlichen knapp 20 Mass.-% bilden Störstoffe (PPK, Organik, Mittelfraktion, ...), die nicht in das Wertstofffassungssystem Gelber Sack/Gelbe Tonne gehören. Mit diesem hohen Störstoffanteil schneidet der/die Gelbe Sack/Tonne gegenüber den anderen beiden Holsystemen zur Wertstofffassung deutlich schlechter ab.

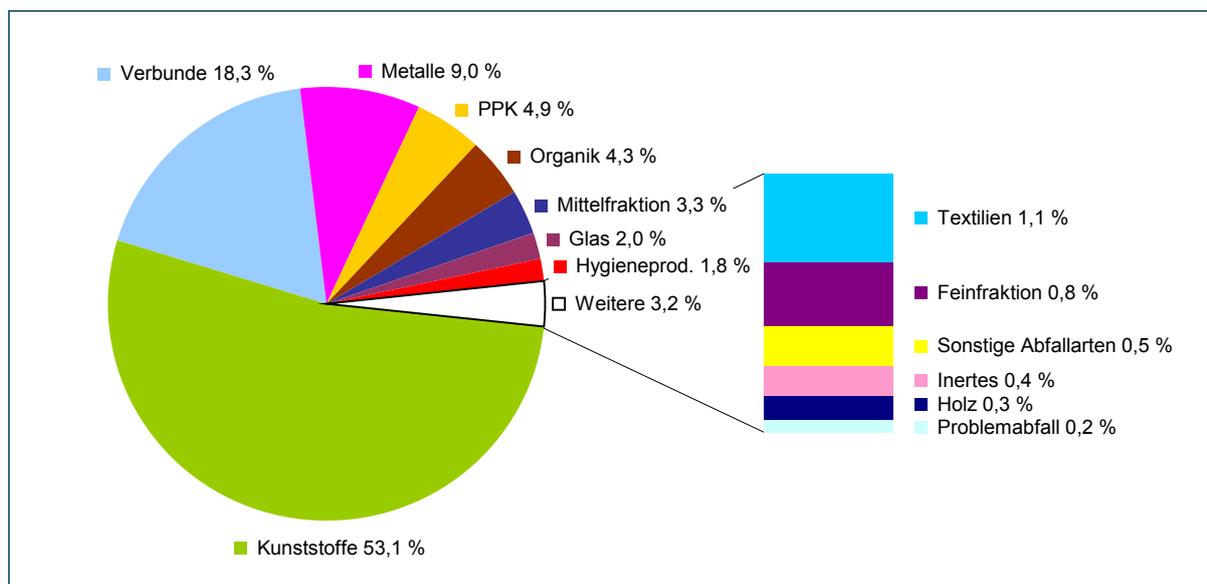


Abb. 27: Durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung der LVP aus privaten Haushaltungen der untersuchten Gebietskörperschaften.

Die Abbildungen 28 bis 30 zeigen die Zusammensetzung der über das Holsystem separat erfassten LVP in den einzelnen Gebietskörperschaften sowie -strukturen. Systemkonforme Stoffe sind in diesen Abbildungen als farbige Kressegmente, Störstoffe als Säulenabschnitte dargestellt.

Hauptmassebildner der LVP sind Kunststoffverpackungen wie Becher (z. B. für Lebensmittel), Flaschen (z. B. für Körperpflege-, Reinigungsmittel) etc. Sie machen zwischen 31,2 und 47,6 Mass.-%

der LVP aus, mit steigenden Anteilen von der innerstädtischen zur Stadtrandstruktur.

Zweitgrößte Sortierfraktion sind Verbundverpackungen wie z. B. Getränkekartons, Blisterverpackungen oder Zigarettenschachteln. Ihr Anteil liegt zwischen 11,5 und 19,7 Mass.-%, wobei ebenfalls ein Anstieg von innerstädtischen zu Stadtrandbereichen zu verzeichnen ist.

An dritter und vierter Stelle kommen die systemkonformen Sortierfraktionen Kunststofffolien und Fe-Metallverpackungen (nur bei den Städten S9 und S11; bei der Stadt S10 sind Fe-Metallverpackungen Störstoffe). Sie tragen mit Gehalten von 6,0 bis 9,9 Mass.-% (je Fraktion) zum LVP-Gehalt bei.

NE-Metallverpackungen und Styropor spielen als weitere systemkonforme Sortierfraktionen der LVP mit Werten bis zu 2,8 Mass.-% eine untergeordnete Rolle.

Der Anteil an Störstoffen (Fehlwürfen) in den separat erfassten LVP liegt in den drei Gebietskörperschaften und -strukturen zwischen 21,6 und 40,6 Mass.-%. Er ist in den Stadtrandgebieten am niedrigsten und steigt mit zunehmender Siedlungsdichte an.

Häufigste Störstoffe sind die Sonstigen Kunststoffartikel (stoffgleiche Nichtverpackungen), wie z. B. Plastikspielzeug, Blumentöpfe etc.; ihre Anteile liegen zwischen 4,7 und 8,9 Mass.-%. Als weitere häufig vorkommende Störstoffe sind zu nennen: PPK mit 2,6 bis 8,4 Mass.-%, Organik mit 2,3 bis 9,1 Mass.-% und Sonstige Verbunde mit 1,5 bis 5,6 Mass.-%.

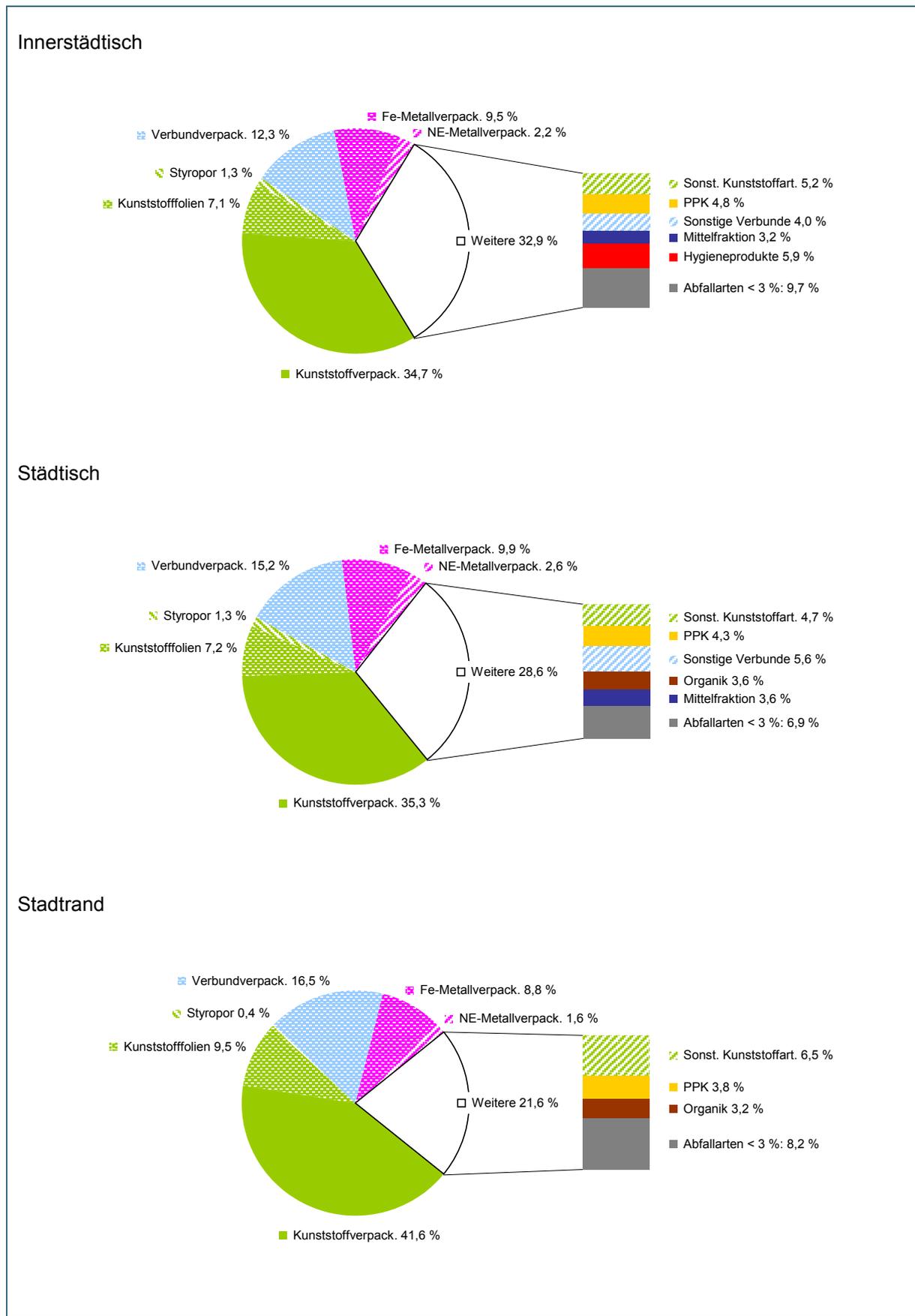


Abb. 28: Prozentuale LVP-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in der Stadt S9.

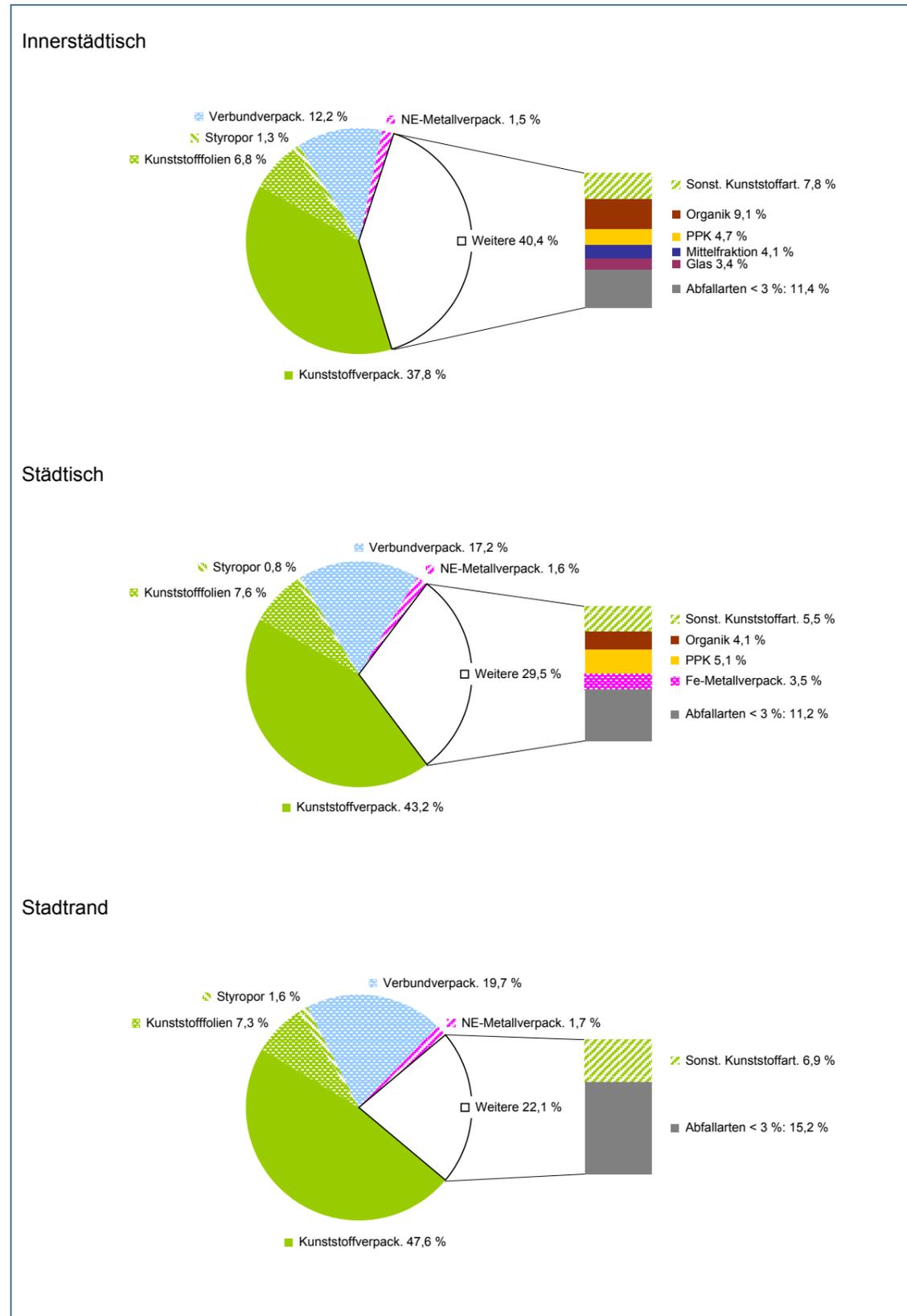


Abb. 29: Prozentuale LVP-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in der Stadt S10.



Abb. 30: Prozentuale LVP-Zusammensetzung, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in der Stadt S11.

5.1.5 Glas

5.1.5.1 Aufkommen

Für den im Bringsystem erfassten Wertstoff Glas kann kein einwohnerspezifisches Jahresaufkommen angegeben werden, da bei Bringsystemen der Einzugsbereich und somit die Anzahl der Abfall erzeugenden Einwohner unbekannt ist (vgl. Abschnitt 4.2.3).

5.1.5.2 Zusammensetzung

Die Zusammensetzung von weißem, grünem und braunem Behälterglas in den drei Gebietskörperschaften zeigt Abbildung 31 bis 33. Systemkonforme Sortierfraktionen (d. h. Behälterglas, aufgetrennt in die entsprechende Sammelfarbe und Fehlfarben) sind im Kreisdiagramm, Störstoffe im Säulendiagramm dargestellt. Die Ergebnisse ließen sich bezüglich der einzelnen Gebietsstrukturen nicht weiter differenzieren, da pro Stadt und Gebietsstruktur jeweils ein Depotcontainer für die drei Glasfarben untersucht worden ist.

Weißglas weist von allen Behälterglasfarben einerseits den geringsten Anteil an Fehlfarben (1,0–1,5 Mass.-%), andererseits den größten Gehalt an Störstoffen (3,0–4,6 Mass.-%) auf. Nicht systemkonforme Inhaltsstoffe sind insbesondere Sonstiges Glas (wie z. B. Trinkgläser) und Metalle, aber auch Organik und Inertes.

Grünes Behälterglas hat gegenüber Weißglas mit Werten zwischen 3,9 und 7,5 Mass.-% einen deutlich höheren Anteil an Fehlfarben; zugleich besitzt es mit 0,4 bis 0,8 Mass.-% Störstoffen den geringsten Gehalt aller Behälterglasfarben an nicht systemkonformen Komponenten (vor allem die Sortierobergruppe Organik).

Im braunen Behälterglas sind mit Anteilen zwischen 4,2 und 9,2 Mass.-% geringfügig mehr Fehlfarben vorhanden als im Grünglas. Störstoffe sind zu 0,9 bis 2,7 Mass.-% enthalten; insbesondere die Fraktionen Inertes und Sonstiges Glas bilden die nicht systemkonformen Inhaltsstoffe.

Im Vergleich der drei Gebietskörperschaften schneidet hinsichtlich der Qualität des separat erfassten Wertstoffes Glas die Stadt S11 am schlechtesten ab. Die Farbreinheit ist bei grünem und braunem Behälterglas deutlich schlechter als in den anderen beiden Städten. Gleichzeitig weist sie bei allen Behälterglasfarben in Bezug auf Störstoffe die höchsten prozentualen Anteile auf.

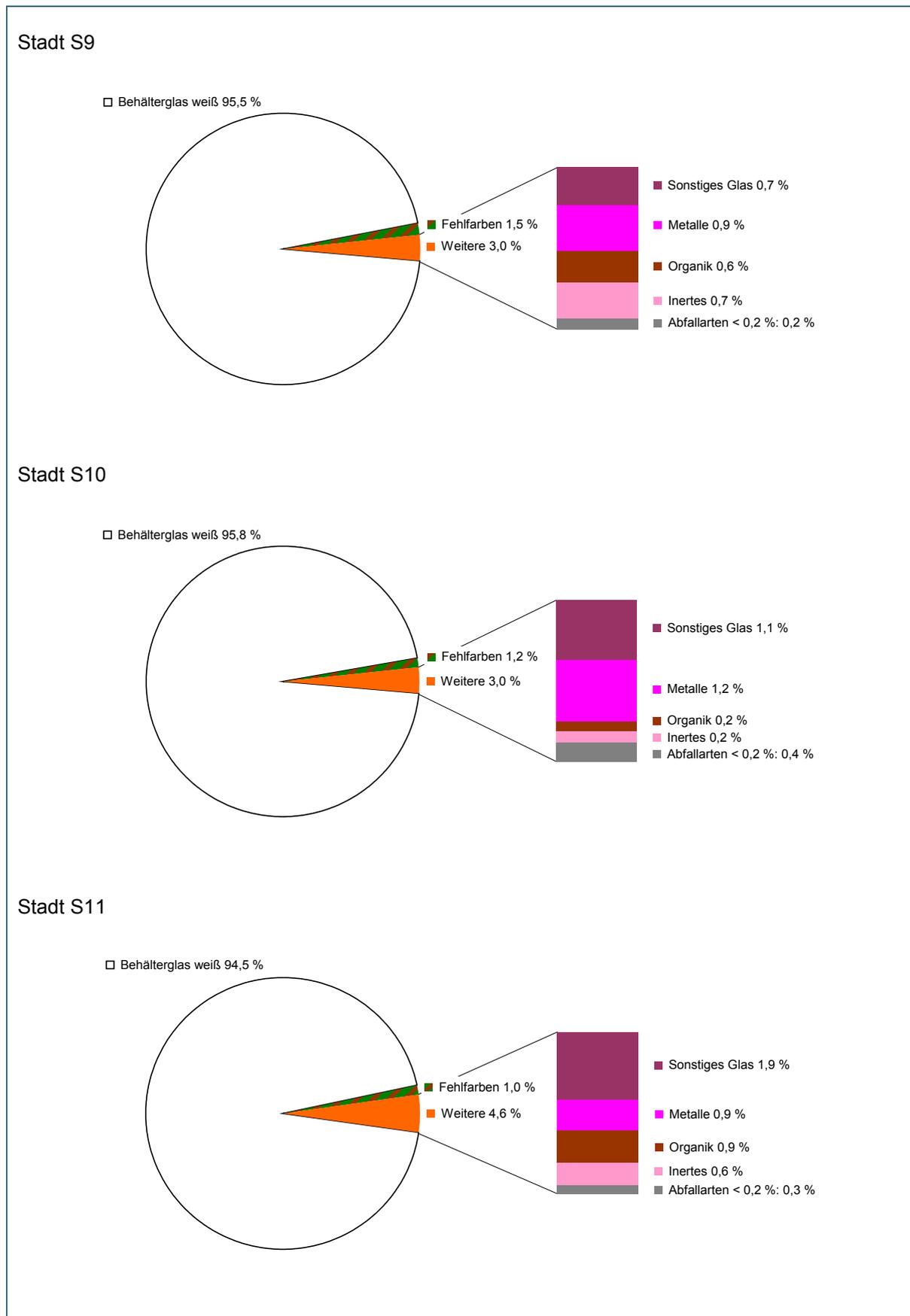


Abb. 31: Prozentuale Zusammensetzung des Weißglases, unterteilt in systemkonforme Materialien (inkl. Fehlfarben; Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in den Städten S9 bis S11.

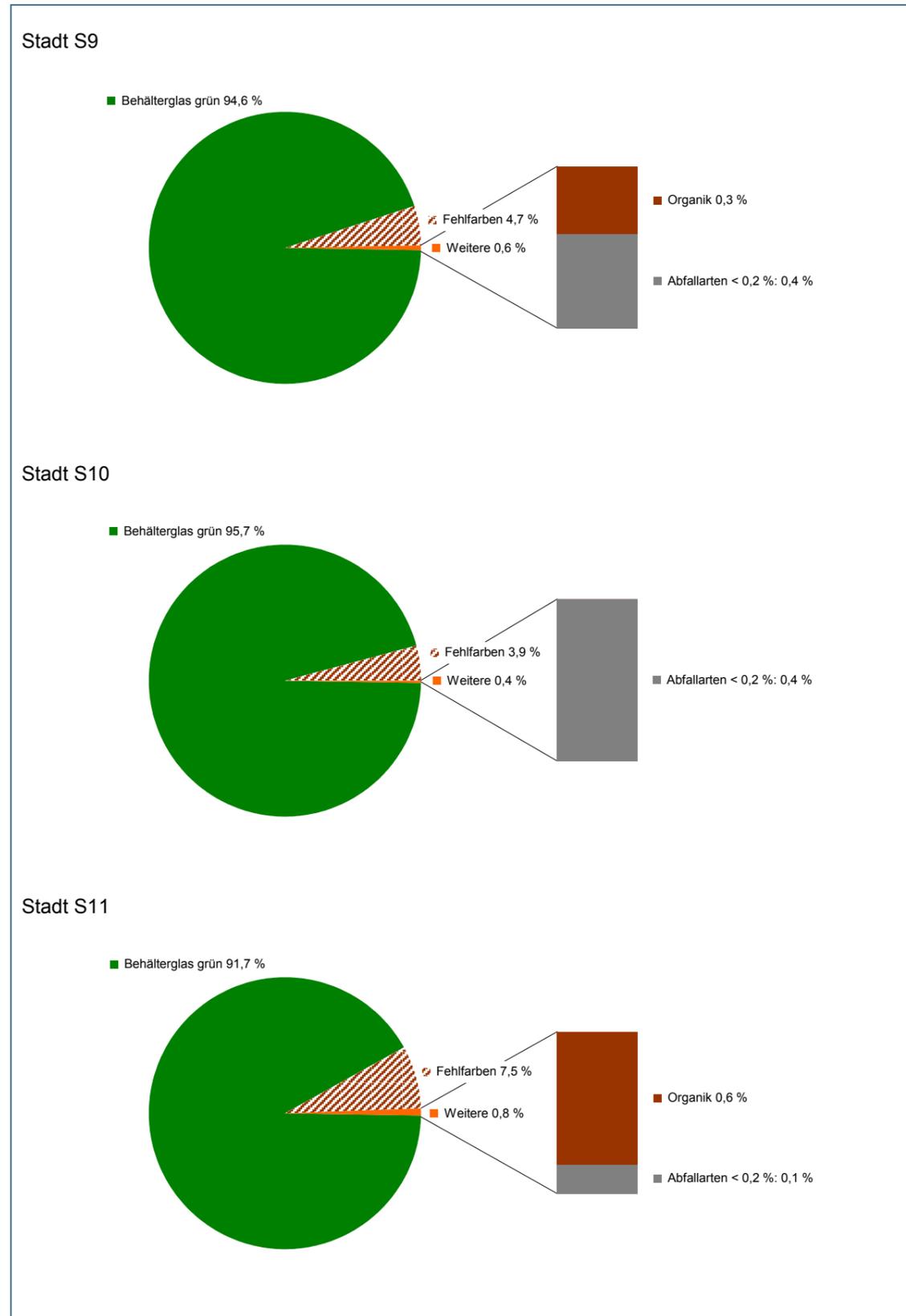


Abb. 32: Prozentuale Zusammensetzung des Grünglases, unterteilt in systemkonforme Materialien (inkl. Fehlfarben; Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in den Städten S9 bis S11.

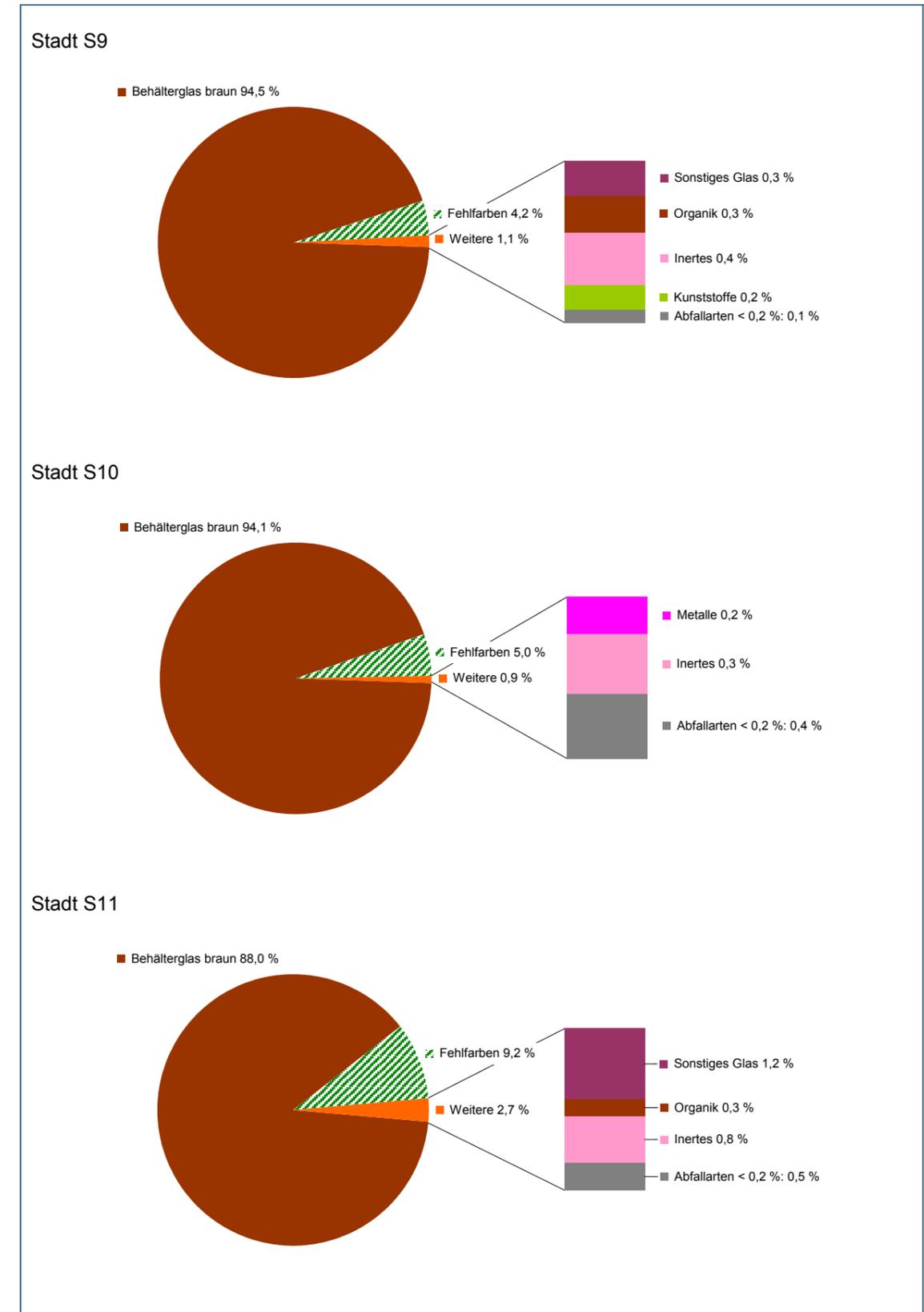


Abb. 33: Prozentuale Zusammensetzung des Braunglases, unterteilt in systemkonforme Materialien (inkl. Fehlfarben; Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in den Städten S9 bis S11.

5.1.6 Metalle

5.1.6.1 Aufkommen

Auch bei dem in der Stadt S10 im Bringsystem erfassten Wertstoff Metalle kann nur die Zusammensetzung angegeben werden, da bei Bringsystemen keine Zuordnung zur Anzahl der Abfall erzeugenden Einwohner möglich ist.

5.1.6.2 Zusammensetzung

Die Zusammensetzung des Wertstoffstroms Metalle der Stadt S10 zeigt Abbildung 34; wie beim Glas (vgl. Abschnitt 5.1.5.2) wurde bei der Ergebnisdarstellung auf eine Differenzierung in die verschiedenen Gebietsstrukturen verzichtet.

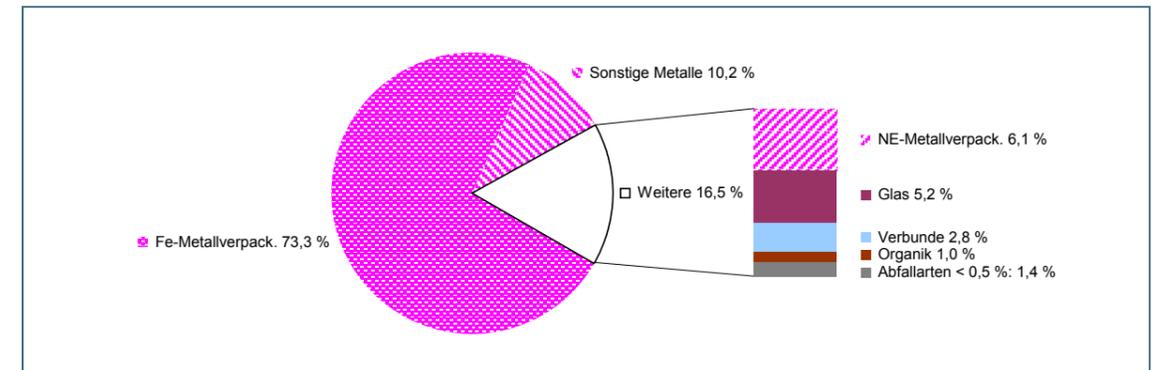


Abb. 34: Prozentuale Zusammensetzung der separat erfassten Metalle, unterteilt in systemkonforme Materialien (farbige Kreissegmente) und Störstoffe (Säulenabschnitte), in der Stadt S10.

Die beiden Sortierfraktionen Fe-Metallverpackungen und Sonstige Metallteile bilden die separat erfassten Metalle. Hauptmassbildner mit einem Anteil von 73,3 Mass.-% sind die Fe-Metallverpackungen. Sonstige Metallteile, wie z. B. Bleche, Drähte, Nägel und Werkzeug, machen weitere 10,2 Mass.-% des Wertstoffstroms aus, womit insgesamt 83,5 Mass.-% der Metalle systemkonforme Wertstoffe darstellen.

Störstoffe mit den höchsten Massenanteilen sind die NE-Metallverpackungen mit 6,1 Mass.-%, die in der Stadt S10 über den Gelben Sack/die Gelbe Tonne erfasst werden, und die Obergruppe Glas mit 5,2 Mass.-%, die an den gleichen Standorten mit den Glas-Containern erfasst wird.

5.1.7 Restmüll- und Wertstoffaufkommen (insgesamt)

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die Zusammensetzung, d. h. die Qualität der untersuchten Abfallströme aus privaten Haushaltungen im Vordergrund stand, wird im Folgenden näher auf das Aufkommen, d. h. die Quantität der einzelnen Abfallarten eingegangen.

Eine Übersicht über das spezifische Restmüll- und Wertstoffaufkommen in den untersuchten Gebietskörperschaften gibt Tabelle 10. Für die im Holsystem erfassten Abfallarten Restmüll, Bio- und Grünabfälle sowie PPK ist das bei den Sortierungen ermittelte Aufkommen angegeben. Für LVP und die im Bringsystem erfassten Wertstoffe Glas und Metalle, für die keine einwohnerbezogenen Daten vorliegen, wurde auf die Angaben der Körperschaften [48] für die Bayerische Abfallbilanz 2011 [8] zurückgegriffen.

Tab. 10: Spezifisches Abfallaufkommen aus privaten Haushaltungen für Restmüll und die separat erfassten Wertstoffe in den Städten S9 bis S11.

Abfallart	Stadt S9	Stadt S10	Stadt S11	Durchschnitt	
	[kg/(E · a)]			[kg/(E · a)]	[Mass.-%]
Restmüll	98,7	103,0	109,6	104,8	31,9
Bio-/Grünabfälle	113,2	111,8	93,6	104,5	31,8
PPK	69,5	69,2	64,2	67,2	20,4
LVP ¹⁾	24,2	24,0	26,1	24,9	7,6
Glas ¹⁾	29,3	25,2	13,7	21,3	6,5
Metalle ¹⁾	4,0	9,2	4,3	6,0	1,8
Summe	338,8	342,5	311,5	328,7	100,0

¹⁾ Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt [48]

Wie bereits erwähnt, ähneln sich die drei Gebietskörperschaften in ihren abfallwirtschaftlichen Daten. So liegt auch das spezifische Abfallaufkommen – Restmüll plus separat erfasste Wertstoffe – aus privaten Haushaltungen in den drei Städten zwischen 311,5 und 342,5 kg/(E · a), durchschnittlich bei 328,7 kg/(E · a). Restmüll und in der Biotonne erfasste Bio-/Grünabfälle, die in nahezu gleicher Masse {im Mittel ca. 105 kg/(E · a)} anfallen, machen jeweils knapp ein Drittel des Gesamtaufkommens aus. PPK {67,2 kg/(E · a)} tragen ein Fünftel zum Gesamtabfallaufkommen bei. LVP und Glas (jeweils ca. 7 Mass.-%) sowie untergeordnet Metalle (ca. 2 Mass.-%) bilden in etwa das restliche Fünftel.

Wie in Abschnitt 5.1.1.3 gezeigt, ist in allen drei Städten das im Restmüll verbleibende Wertstoffpotenzial vergleichsweise relativ hoch (siehe Tab. 9). Dies verdeutlicht auch Abbildung 35, die das spezifische Organik-, PPK- und LVP-Aufkommen im Restmüll für die drei Städte und die früher untersuchten Gebietskörperschaften [15–17] in Abhängigkeit des Erfassungssystems darstellt (aus Vergleichsgründen wurden die aktuellen Daten gemäß der Zuordnung der Sortierfraktionen zu Wertstoffen nach [15] ausgewertet, vgl. Abschnitt 5.1.1.3).

Die drei Städte liegen mit ihrer weitgehenden Getrennterfassung mittels benutzerfreundlicher Holsysteme hinsichtlich des Wertstoffgehalts im Restmüll im Mittelfeld, im Vergleich der Holsysteme im oberen Bereich (insbesondere beim Organik- und PPK-Aufkommen). Auf der anderen Seite gibt es Gebietskörperschaften, auch Städte, mit Hol- und teilweise sogar Bringsystem, deren Restmüll deutlich weniger Wertstoffe enthält. So sollten sich die Organik- und LVP-Gehalte im Restmüll der drei Städte mindestens um 40 Mass.-%, die PPK-Gehalte mindestens um 55 Mass.-% vermindern lassen (Ziel: Stadt mit geringstem Wertstoffaufkommen im Restmüll); dadurch ließe sich zum einen die thermisch zu behandelnde Restmüllmasse deutlich reduzieren, zum anderen das Wertstoffaufkommen, d. h. die Recyclingquoten weiter steigern.

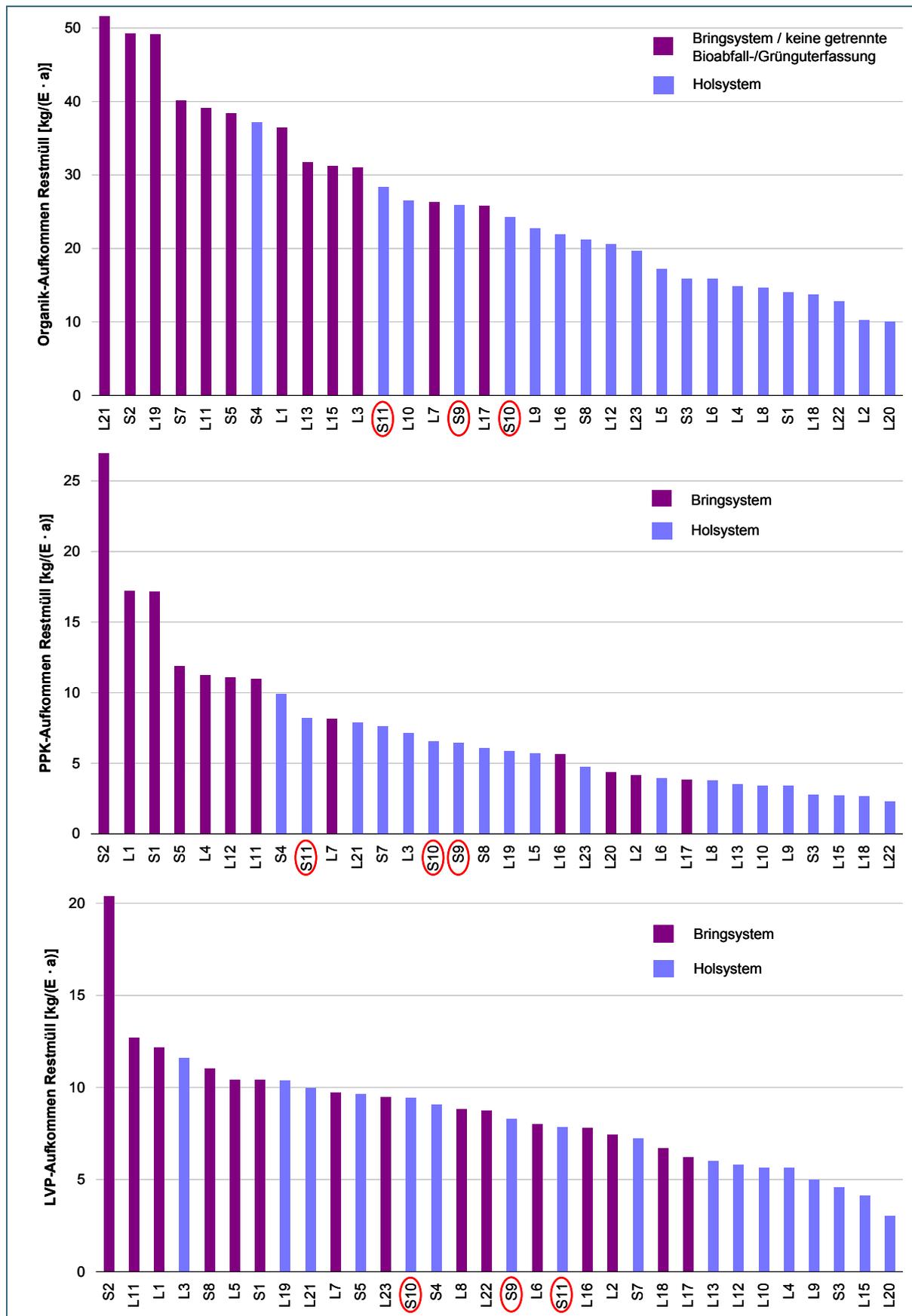


Abb. 35: Organik-, PPK- und LVP-Aufkommen im Restmüll in Abhängigkeit vom Erfassungssystem: Vergleich der untersuchten Gebietskörperschaften mit Daten früherer LfU-Untersuchungen [15–17].

5.2 CO₂-Einsparpotenzial durch Wertstoffabschöpfung aus dem Restmüll

Wie in Abschnitt 5.1.1.3 dargestellt, enthält der Restmüll eine Vielzahl von Wertstoffen. Deren Getrennterfassung gilt es im Bewusstsein der Bevölkerung zu verankern, um dadurch (i) zu einer weiteren Entfrachtung des Restmülls zu kommen und (ii) die Wertstoffe bestmöglich stofflich und/oder energetisch zu nutzen. Hierzu sind unterschiedlichste, aufeinander abgestimmte Maßnahmen von der Abfallberatung über die Öffentlichkeitsarbeit [49] bis hin zu den Gegebenheiten z. B. bei Neubauten (Stellplätze für Sammelgefäße in den Wohnungen oder auf den Etagen etc.) notwendig.

Eine verstärkte stoffliche Nutzung der Wertstoffe – Organik (Küchen- und Gartenabfälle), PPK (Verpackungen, Druckerzeugnisse und sonstige PPK), LVP (Kunststoff-, Verbund- und Metallverpackungen), Glas (Behälterglas), Metalle (sonstige Metalle) und stNVP (sonstige Kunststoffe), vgl. Abschnitt 4.2.4 – trägt insgesamt durch Reduzierung von CO₂-Emissionen zum Klimaschutz bei. So zeigen Fricke et al. [50, 51], dass die stoffliche Verwertung der Abfallfraktionen Bioabfall, PPK, LVP und Metalle bezüglich ihrer Ressourceneffizienz und Klimawirksamkeit deutliche Vorteile gegenüber einer thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen aufweist. Dabei werden Abschöpfungsraten für Wertstoffe von 20 Mass.-% für Organik, jeweils 60 Mass.-% für PPK, LVP und Metalle sowie 50 Mass.-% für Glas (jeweils bezogen auf die noch im Restabfall befindlichen Wertstoffmengen) als realisierbar erachtet.

Den folgenden Betrachtungen liegt das bei den früheren BayLfU-Abfallanalysen [23] ermittelte minimale Wertstoffaufkommen (vgl. Tab. 9) als real erreichbarer Mindestgehalt im Restmüll zugrunde. Unter dieser Annahme ergeben sich aus den mittleren Wertstoffgehalten im Restmüll der drei Städte Abschöpfungsraten zwischen 62 Mass.-% (Organik) und 72 Mass.-% (Glas). Bei den i. d. R. großstückig anfallenden und damit verhältnismäßig einfach zu separierenden sonstigen Metallteilen wird von einem ähnlichen Abschöpfungsgrad (65 Mass.-%) aus dem Restmüll ausgegangen.

Dieses abschöpfbare Wertstoffaufkommen der drei untersuchten Städte wird auf die bayerischen Gebietskörperschaften mit vergleichbarer Siedlungsstruktur (und damit Abfallaufkommen und Trennverhalten) – Strukturklasse *städtisch* der Bayerischen Abfallbilanz mit einem Anteil von 9,4 % (Stand 2011) an der Einwohnerzahl Bayerns [8, S. 12] – hochgerechnet.

Die Berechnung des CO₂-Einsparpotenzials durch stoffliche Verwertung gegenüber der thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen mit Energieauskopplung (Strom, Wärme) erfolgt mit wertstoffspezifischen Umrechnungsfaktoren. Die Faktoren – Einheit: Mg CO₂-Äquivalente/Mg – beinhalten den CO₂-„Aufwand“ bei Sortierung, Aufbereitung und Verwertung der Wertstoffe, die erzielten CO₂-Gutschriften durch Einsparung von Energie und Rohstoffen bei der stofflichen Verwertung und die ggf. nicht erzielten CO₂-Gutschriften bei der Energiegewinnung in Müllverbrennungsanlagen; sie entsprechen dem gegenwärtigen Kenntnisstand:

- Organik: Der Faktor 0,073 Mg CO₂-Äquivalente/Mg [36] berücksichtigt die Entsorgungswege für Bioabfälle in Bayern (Stand 2011: Kompostierung 67 %, Vergärung 33 %, ohne die massenstrommäßig vernachlässigbaren außerbayerischen Entsorgungswege).
- PPK: Die stoffliche Verwertung und die thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen sind nach [36] in Bezug auf die CO₂-Emissionen als in etwa gleichwertig zu betrachten, sodass für die PPK-Fraktion ein Faktor von 0 Mg CO₂-Äquivalenten/Mg resultiert.
- LVP: Die stoffliche Verwertung von Kunststoffverpackungen spart laut [38] gegenüber der Behandlung in Müllverbrennungsanlagen 1,26 Mg CO₂-Äquivalente/Mg ein.
- Glas: Der Faktor beträgt 0,12 Mg CO₂-Äquivalente/Mg [36].
- Metalle: Bei der Restmüllsortierung wird bei der Untergruppe „Sonstige Metallteile“ nicht zwischen Fe- und NE-Metallen unterschieden. Dem CO₂-Faktor liegt ein Metall-Mix von 90 % Eisen und 10 % Aluminium zugrunde. Daraus resultiert ein Faktor von 1,79 Mg CO₂-Äquivalenten/Mg [36].

Die Ergebnisse der Hochrechnung sind in Abbildung 36 dargestellt.

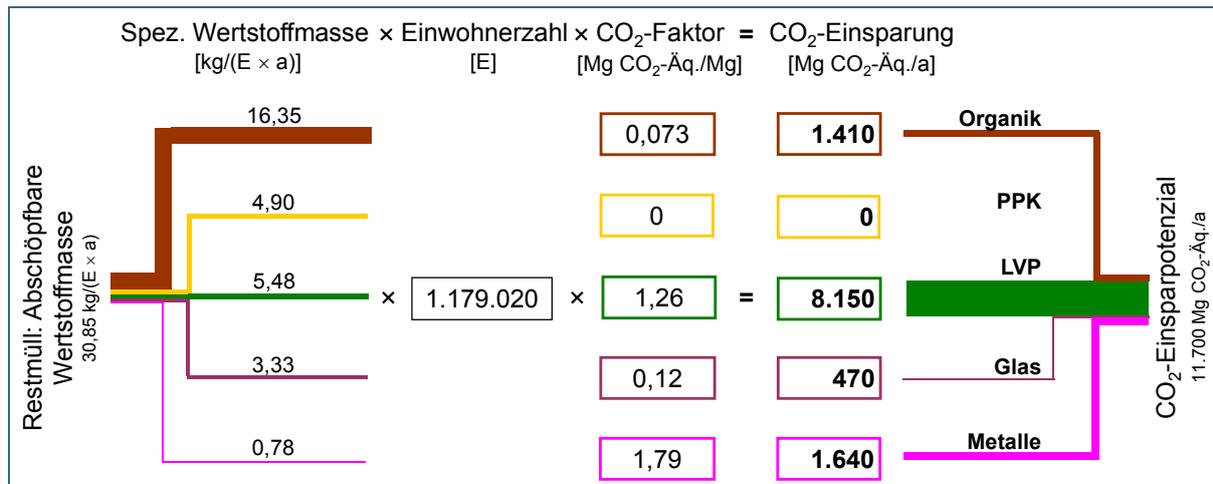


Abb. 36: Abschöpfbare Wertstoffmasse im Restmüll sowie CO₂-Einsparpotenzial durch verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung aus dem Restmüll, hochgerechnet auf die bayerischen Gebietskörperschaften mit städtischer Siedlungsstruktur [8, S. 12] unter Verwendung der CO₂-Faktoren nach [36, 38].

Das höchste Aufkommen im Restmüll der drei Städte weist mit durchschnittlich 26,4 kg/(E · a) der Wertstoff Organik (Sortierfraktionen Küchen- und Gartenabfälle) auf (vgl. Tab. 9). Geht man von einem minimalen Organikgehalt im Restmüll von 10,0 kg/(E · a) [23] aus, resultiert ein noch abschöpfbares Aufkommen von 16,4 kg/(E · a), entsprechend 15,6 Mass.-% des Restmüll- bzw. 61,9 Mass.-% des Organikaufkommens im Restmüll. Für die bayerischen städtischen Gebietskörperschaften ergibt dies ein Aufkommen von 19.300 Mg/a, um das sich der Restmüll reduziert bzw. das Bioabfallaufkommen erhöht; dies ist über die Hälfte (53 Mass.-%) der insgesamt aus dem Restmüll abschöpfbaren Wertstoffe. Eine Verwertung nach dem Stand der Technik (Kompostierung bzw. Vergärung mit Nachkompostierung) würde zu einer CO₂-Einsparung gegenüber der thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen von 1.410 Mg CO₂-Äquivalenten/a führen. Zur Gesamtreduktion an CO₂ liefert die Organik einen Beitrag von knapp 12 Mass.-%.

Das zweitgrößte Wertstoffaufkommen im Restmüll – rund ein Drittel des Organikanteils – stellen die LVP-Sortierfraktionen Kunststoffverpackungen, -folien, Verbundverpackungen, Fe- und NE-Metallverpackungen dar: durchschnittlich 8,5 kg/(E · a) (vgl. Tab. 9). Bei einem verbleibenden Mindestaufkommen von 3,0 kg/(E · a) [23] im Restmüll errechnet sich das Abschöpfungspotenzial zu 5,5 kg/(E · a) (5,2 Mass.-% des Restmüll- bzw. 64,3 Mass.-% des LVP-Aufkommens im Restmüll) bzw. 6.470 Mg/a für die Strukturklasse *städtisch* (knapp 18 Mass.-% der abschöpfbaren Wertstoffe im Restmüll). Bei einer stofflichen Verwertung dieser LVP ließen sich 8.150 Mg CO₂-Äquivalente/a einsparen. Damit liefert LVP mit fast 70 Mass.-% den Hauptbeitrag zum CO₂-Einsparpotenzial durch optimierte Wertstoffabschöpfung.

Metalle (Sortierfraktion Sonstige Metallteile) tragen massenmäßig mit 1,2 kg/(E · a) untergeordnet zum Wertstoffpotenzial im Restmüll bei. Insofern führt ein Abschöpfungsgrad von 65 Mass.-% zu einer minimalen Verminderung des Restmüllaufkommens um 0,8 kg/(E · a) bzw. 916 Mg/a für die bayerischen Gebietskörperschaften mit städtischer Siedlungsstruktur. Ungeachtet dessen führt die stoffliche Verwertung der Metalle zu einer CO₂-Einsparung gegenüber der thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen von hochgerechnet 1.640 Mg CO₂-Äquivalenten/a entsprechend 14 Mass.-% der Gesamteinsparung durch verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung aus dem Restmüll; damit liegt die CO₂-Einsparung auf vergleichbarem Niveau mit dem Wertstoff Organik.

Die Wertstofffraktionen PPK (Sortierfraktionen PPK-Verpackungen, -Druckerzeugnisse und Sonstige PPK) und Glas (Behälterglas) liefern selbst bei hohen Abschöpfraten von 68,0 bzw. 71,7 Mass.-% geringe Einsparpotenziale hinsichtlich Restmüllaufkommen (bei verbesserter PPK- und Glasabtrennung Verminderung um insgesamt 7,9 Mass.-%). Die stoffliche Verwertung von PPK führt zu keiner CO₂-Einsparung, das resultierende CO₂-Einsparpotenzial bei Glas ist mit 470 Mg CO₂-Äquivalenten/a untergeordnet (Anteil am Gesamt-Einsparpotenzial: 4 Mass.-%).

Eine verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung aus dem Restmüll führt unter den getroffenen Annahmen zu einem um 30,9 kg/(E · a) bzw. 29,4 Mass.-% verminderten Restmüllaufkommen. In den Gebietskörperschaften Bayerns mit städtischer Siedlungsstruktur (mit einem Anteil von 9,4 % an der Einwohnerzahl Bayerns) entspricht dies einer Restmülleinsparung von 36.400 Mg/a bzw. einer CO₂-Einsparung gegenüber der thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen durch i. d. R. stoffliche Verwertung dieser Sekundärrohstoffe von 11.700 Mg CO₂-Äquivalenten/a. Dies entspricht dem jährlichen CO₂-Ausstoß von ca. 6.500 Kraftfahrzeugen bei einem angenommenen CO₂-Ausstoß von 150 g/km und einer Fahrleistung von 12.000 km/a.

5.3 Abfallanalysen

Die analytische Charakterisierung der Abfälle (Restmüll, Wertstoffe) hat das Ziel, physikalisch-chemische Unterschiede zwischen den im Restmüll enthaltenen und den getrennt erfassten Wertstoffen zu ermitteln, vgl. Abschnitt 4.4.1. Dazu wurden die fünf Wertstoffe enthaltenden Analysenstoffgruppen Organik, PPK, Kunststoffverpackungen inkl. Folien, Verbundverpackungen und Glas untersucht. Für die Beprobung standen die jeweiligen Sortierfraktionen des Restabfalls bzw. der Wertstoff-Sammelsysteme (Bio-, Papiertonne, Gelber Sack/Gelbe Tonne, Glascontainer) zur Verfügung.

Die Tabelle 11 enthält die Ergebnisse der Analysenparameter, bei denen die größten (relativen) Unterschiede zwischen Restmüll (RM) und getrennt erfassten Wertstoffen (WSt) auftraten. Als Kriterium diente der Quotient χ der Mittelwerte: $\chi < 0,5 \vee \chi > 2,0$.

Tab. 11: Analyseergebnisse (Mittelwerte) ausgewählter Parameter. RM: Restmüll; WSt: entsprechender getrennt erfasster Wertstoff; WG: Wassergehalt; GV: Glühverlust; $C_{\text{anorg/org}}$: anorganisch/organisch gebundener Kohlenstoff; C_{ges} : Gesamtkohlenstoff; n. b.: nicht bestimmt.

		Organik		Papier, Pappe, Kartonagen		Kunststoffverp. inkl. Folien		Verbundverpackungen		Glas	
		RM	WSt	RM	WSt	RM	WSt	RM	WSt	RM	WSt
Probenzahl		15	17	6	6	6	6	14	17	5	6
WG	Mass.-%	59,5	65,5	27,0	10,5	22,2	10,8	25,5	15,2	4,3	0,5
GV	Mass.-%	89,0	85,9	82,4	79,8	91,4	96,3	86,0	88,6	2,2	0,6
C_{anorg}	Mass.-%	< 0,1	< 0,1	1,4	1,5	< 0,1	< 0,1	0,3	0,2	< 0,1	< 0,1
C_{org}	Mass.-%	45,2	42,5	37,6	35,4	72,0	77,8	47,7	51,0	1,1	0,4
C_{ges}	Mass.-%	45,2	42,6	39,0	36,9	72,0	77,8	48,0	51,2	1,1	0,4
Cl	mg/kg	12.513	6.735	2.751	733	4.667	4.562	5.393	3.827	1.236	< 500
P	mg/kg	3.813	3.382	653	332	946	662	1.098	604	< 300	< 300
S	mg/kg	3.087	2.915	1.156	824	2.337	950	1.798	1.130	697	< 500
N	mg/kg	25.861	18.008	3.196	1.479	4.458	2.750	5.207	2.020	n. b.	n. b.
Pb	mg/kg	11	< 10	16	26	39	34	20	14	140	303
Cr	mg/kg	25	25	21	21	41	36	30	27	318	647
Zn	mg/kg	64	64	51	56	245	129	94	41	90	70
As	mg/kg	< 5	5	< 5	< 5	< 5	5	15	< 5	27	9

Bis zur Leerung der Restmülltonne durchdringt die Feuchtigkeit der Bioabfälle die restlichen Bestandteile des Restmülls. Vor allem saugfähige Abfälle wie z. B. PPK und evtl. Verbunde nehmen die Feuchtigkeit auf; andere Abfälle wie z. B. Kunststoffe und Glas werden oberflächlich benetzt. Diese Gegebenheit spiegelt sich in den untersuchten Analysenstoffgruppen wider. Die Wassergehalte der jeweiligen Analysenstoffgruppen sind in den „trockenen“ Wertstofftonnen (Papiertonne, Gelber Sack/Gelbe Tonne, Glascontainer) deutlich niedriger als in der Restmülltonne. In der Regel verdoppeln sich die Feuchten in der Restmülltonne; bei dem sehr trockenen Wertstoff Glas erhöht sich der Wassergehalt durch anhaftende Feuchte um den Faktor 7,9. Zudem wird die Abgabe von Feuchtigkeit an das restliche Abfallkonglomerat der Restmülltonne im Rückgang des Wassergehalts der Organik gegenüber der Biotonne deutlich.

Die Gehalte an organischer/n Substanz/Verbindungen, ausgedrückt durch den Summenparameter Glühverlust bzw. die Analysenparameter organisch gebundener Kohlenstoff bzw. Gesamtkohlenstoff,

verändern sich in der Restmülltonne gegenüber den getrennt erfassten Wertstoffen kaum. In der an sich mineralischen Analysenstoffgruppe Glas kommt es durch organische Verschmutzungen, Anhaftungen infolge des direkten Kontakts mit Restmüll zu einer nennenswerten Erhöhung des Glühverlusts (Faktor 3,4) bzw. Kohlenstoffgehalts (Faktor 2,7).

Verschmutzungen der Analysenstoffgruppen durch Anhaftungen sowie das Durchdringen des Restmülls mit Feuchtigkeit (Milieubedingungen $\text{pH} \neq 7$) führen zu allgemein höheren Gehalten an Chlor, Phosphor, Schwefel und Stickstoff in den Restmüllproben im Vergleich zu den getrennt erfassten Wertstoffen. Die Konzentrationen unterscheiden sich vor allem bei jenen Analysenstoffgruppen deutlich, die generell eher geringe Gehalte dieser Elemente aufweisen {Chlor: PPK (Faktor 3,8), Glas ($> 2,5$); Phosphor: PPK (2,0); Schwefel: Kunststoffverpackungen inkl. Folien (2,5); Stickstoff: PPK (2,2), Verbundverpackungen (2,6)}.

Die Schwermetallgehalte in den Analysenstoffgruppen verändern sich durch die gegenseitige Beeinflussung in der Restmülltonne kaum. Nennenswerte Unterschiede zwischen Restmüll- und Wertstoffproben wurden bei den Schwermetallen Blei, Chrom, Zink und Arsen in den Wertstoffen Verbundverpackungen und Glas festgestellt. Der hohe Blei-Mittelwert im Wertstoff Glas resultiert aus einem Extremwert {1.070 mg/(kg Trockenmasse); evtl. Bleiglas in der Probe} in einer der sechs Wertstoffproben; abgesehen von diesem Ausreißer unterscheiden sich die Bleigehalte in der Analysenstoffgruppe Glas kaum. Der Chromgehalt im Wertstoff Glas ist gegenüber Glas aus dem Restmüll deutlich erhöht (durchschnittlich Faktor 2,0). Im Unterschied hierzu wurden für die Schwermetalle Zink und Arsen in den Restmüllproben höhere Gehalte ermittelt als in den separat erfassten Wertstoffen {Zink: Verbundverpackungen (Faktor 2,3); Arsen: Verbundverpackungen ($> 3,0$), Glas (2,9)}.

Zusammenfassend belegen die Analysen der Stichproben, dass

- sich die Wertstoffe in der Restmülltonne in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften bis auf den Wassergehalt nicht grundsätzlich von den separat erfassten Wertstoffen unterscheiden
- der hohe Feuchtegehalt im Restmüll von 37,3 Mass.-% [19] eine mechanische Aufbereitung des Restmülls zur stofflichen Verwertung erschwert.

6 Zusammenfassung

Das vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit geförderte Projekt „Nutzung des CO₂-Einsparpotenzials des Restmülls von Haushaltungen durch verbesserte Sekundärrohstoffabschöpfung“ verfolgte einen integralen Ansatz: gleichzeitige Untersuchung von Restmüll und separat erfassten Wertstoffen. Dazu wurde der gesamte in Haushalten anfallende Abfall – ohne Sperrmüll und die an Wertstoffhöfen abgegebenen Abfälle – in drei bayerischen Städten in den Jahren 2010/2011 repräsentativ beprobt und sortiert.

Die Schwerpunkte der Untersuchung lagen auf dem im Restmüll vorhandenen Wertstoffpotenzial und auf der Qualität der vom Bürger separat zu erfassenden Wertstoffe. Das Wertstoffpotenzial des Restmülls bildete die Grundlage für eine Abschätzung der CO₂-Einsparmöglichkeiten infolge einer weiter zu optimierenden Wertstofffassung.

Vorgehen

Die Restmüll- und Wertstoffuntersuchungen wurden analog den bisherigen BayLfU-Sortieranalysen durchgeführt. In jeder Stadt fanden zwei Sortierkampagnen (Sommer/Winter) statt. Für die Probenahme nach Behälterbereitstellung und vor Abholung durch das Entsorgungsunternehmen wurden die Untersuchungsgebiete in die Gebietsstrukturen *Innerstädtisch*, *Städtisch* und *Stadttrand* unterteilt (Schichtung). Restmüll, Bioabfall und LVP wurden mit Hilfe eines Trommelsiebs (Siebschnitte: 10/40 mm) maschinell, PPK mittels Handsieb (40 mm) klassiert. Die Grobfractionen wurden manuell in 41 Fractionen sortiert; dies erlaubt Aussagen über die Verteilung von Sortierfractionen auf Restmüll- und Wertstofftonnen und damit über das Trennverhalten/-gewohnheiten der Bürger.

Die untersuchten Städte (Einwohnerzahl > 60 Tsd.) verfügen über Holsysteme für die Wertstoffe Bioabfall, PPK und LVP sowie ein Bringsystem für Glas; Wertstoffhöfe ergänzen die beiden Sammelsysteme. Die Abfallgebühren werden nach ähnlichen Maßstäben (Behältervolumen, -anzahl und Entleerungsturnus der Restmülltonnen) erhoben, unterscheiden sich jedoch in ihrer Höhe beträchtlich (Gebührenunterschiede bis zu 60 %).

Ergebnisse Restmüll- und Wertstoffuntersuchungen

- **Restmüll.** Die Restmülluntersuchungen zeigen ein vergleichbares Abfallaufkommen mit deutlichem Anstieg von Stadttrand- zu innerstädtischen Strukturen. Besonders ausgeprägt ist dieser Trend bei den Obergruppen Organik, PPK und Kunststoffe. Sie werden in der Gebietsstruktur Stadttrand deutlich besser über die entsprechenden Wertstofftonnen abgeschöpft als in den Gebietsstrukturen Städtisch und Innerstädtisch. Die Zusammensetzung entspricht dem bayerischen Durchschnitt: Fein-, Mittelfraktion, Organik und Hygieneprodukte sind die Hauptmassebildner und machen 61 Mass.-% des Restmülls aus.

Das theoretische (= maximale) Wertstoffpotenzial im Restmüll ist in den drei Städten ähnlich und trotz Getrenntfassung mittels bürgerfreundlicher Holsysteme vergleichsweise hoch (im Schnitt 68 Mass.-% des Restmüllaufkommens). Dies resultiert v. a. aus dem erhöhten Aufkommen der Wertstofffractionen in den (inner-)städtischen Gebietsstrukturen. Die Hauptanteile am Wertstoffpotenzial liefern die Fractionen Organik, PPK, LVP und Glas.

- **Bioabfall.** Das Bioabfallaufkommen liegt in den drei Städten auf gleicher Höhe wie das Restmüllaufkommen. Es ist deutlich höher als der bayerische Durchschnitt. Sowohl Aufkommen als auch Erfassungsgrad fallen vom Stadttrand zum innerstädtischen Bereich stark ab. Durchschnittlich 98,3 Mass.-% des Biotonneninhalts sind verwertbar (Fein-, Mittelfraktion, Organik, Küchenpapiere, PPK). Die restlichen 1,7 Mass.-% sind Störstoffe, die Hälfte davon Kunststoffe.

Das Gesamtaufkommen an Küchenabfällen (Bio- + Restmülltonne) ist in den einzelnen Gebietsstrukturen in etwa gleich; die Getrenntfassung geht mit steigender Siedlungsdichte zurück. Gartenabfälle fallen naturgemäß vorwiegend in Stadttrandgebieten an und werden nahezu vollständig über die Biotonne erfasst; die in innerstädtischen Strukturen anfallenden „Garten“abfälle (Schnitt-

blumen, Zimmerpflanzen) werden in deutlich geringerem Umfang (77,2 % vs. 93,2 % vs. 96,8 %) über die Biotonne erfasst.

- **Papier.** Das PPK-Aufkommen ist in den drei Städten ähnlich; es liegt unter dem bayerischen Durchschnitt. PPK werden über die Papiertonne zu ca. 90 Mass.-% abgeschöpft. Knapp 97 Mass.-% sind systemkonform, die restlichen ca. 3 Mass.-% sind Störstoffe (v. a. Verbunde, die ein Drittel des Störstoffanteils ausmachen).
- **Leichtverpackungen.** Der Störstoffanteil bei den LVP liegt in den Gebietsstrukturen zwischen 21,6 und 40,6 Mass.-% und steigt mit zunehmender Siedlungsdichte an; damit schneidet der/die Gelbe Sack/Tonne gegenüber den anderen Holsystemen deutlich schlechter ab. Häufigste Störstoffe sind die stoffgleichen Nichtverpackungen, PPK, Organik und Sonstige Verbunde.
- **Glas.** Weißglas weist von allen Behälterglasfarben den geringsten Fehlfarbanteil (1,0–1,5 Mass.-%), aber den größten Störstoffgehalt (3,0–4,6 Mass.-%; Sonstiges Glas, Metalle, Organik, Inertes) auf. Grünglas hat den geringsten Gehalt an nicht systemkonformen Komponenten (0,4–0,8 Mass.-%; Organik), Braunglas den größten Fehlfarbanteil (4,2–9,2 Mass.-%).

Ergebnisse CO₂-Einsparpotenzial

Ausgehend von den o. g. Wertstoffgehalten im Restmüll wurden die CO₂-Einsparpotenziale bei einer verbesserten Wertstoffabschöpfung ermittelt. Berechnungsgrundlage für die erzielbaren (minimalen) Wertstoffgehalte bildete die repräsentative Datenbasis früherer BayLfU-Abfallanalysen (7 Städte, 22 Landkreise); das abschöpfbare Wertstoffpotenzial wurde als Differenz der aktuell ermittelten abzüglich der niedrigsten im Restmüll erzielten Wertstoffgehalte in Bayern definiert. Die wertstoffspezifischen CO₂-Faktoren stammen vom bifa Umweltinstitut (Organik, PPK, Glas, Metall) und IFEU Heidelberg (LVP).

- Bei Abschöpfgraden zwischen 62 und 72 Mass.-% für die verschiedenen Wertstoffe im Restmüll liefert die Organik mit über der Hälfte (53,0 Mass.-%) der abschöpfbaren Wertstoffmasse die größte Massenreduktion.
- Die höchsten CO₂-Einsparpotenziale gegenüber der thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen ergeben sich für die Wertstoffe LVP (69,9 Mass.-% des Gesamt-Einsparpotenzials), Metalle (14,0 Mass.-%) und Bioabfall (12,1 Mass.-%). Für Glas resultiert ein Anteil von 4,0 Mass.-%. Die stoffliche Verwertung von PPK führt zu keiner CO₂-Einsparung.
- Metalle, bei denen ein Teil der bei der Herstellung eingesetzten Energie als innere Energie gespeichert ist, haben das größte spezifische CO₂-Einsparpotenzial der untersuchten Wertstoffe. So führt die stoffliche Verwertung von 1 kg Metall (Mix aus 90 % Eisen und 10 % Aluminium) zu der gleichen CO₂-Einsparung wie die Verwertung von 24 kg Bioabfall.
- Hochgerechnet auf die bayerischen Gebietskörperschaften mit vergleichbarer Siedlungsstruktur – Strukturklasse *städtisch* mit 9,4 % der Einwohner Bayerns – liegt das CO₂-Einsparpotenzial gegenüber der thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen bei insgesamt 11.700 Mg CO₂-Äquivalenten p. a. Dies entspricht dem jährlichen CO₂-Ausstoß von ca. 6.500 Kraftfahrzeugen (Annahme: CO₂-Ausstoß 150 g/km, Fahrleistung 12.000 km/a).
Legt man diese Zahlen für ganz Bayern zugrunde, ist von einem CO₂-Einsparpotenzial von rund **124.000 Mg CO₂-Äquivalenten/a** auszugehen. Bezieht man diesen Wert auf die Einwohnerzahl Bayerns, ergibt sich zusätzlich zur Restmüllreduzierung und Ressourcenschonung für die CO₂-Entlastung der Umwelt ein Beitrag von 10 kg CO₂-Äquivalenten pro Einwohner und Jahr.

Ergebnisse physikalisch-chemische Analysen

- Die physikalisch-chemischen Analysen der im Restmüll enthaltenen und der getrennt erfassten Wertstoffe zeigen, dass sich die Wertstoffe in der Restmülltonne (mit Ausnahme der Organik) in ihren Eigenschaften bis auf den deutlich höheren Wassergehalt nicht grundsätzlich von den separat erfassten Wertstoffen unterscheiden.
Getrennt erfasste Wertstoffe wie PPK, Glas und LVP weisen weit weniger Anhaftungen von Fein- und Mittelmüll (Verschmutzung) und eine geringere Feuchte als die entsprechenden Anteile im Restmüll auf. Dadurch lassen sich getrennt erfasste Wertstoffe hochwertiger verwerten. Eine analoge Aussage gilt für den Bioabfall.

Fazit und einzuleitende Maßnahmen

Die ermittelten Daten belegen, dass der Wandel der Abfall- zur Kreislaufwirtschaft einer Intensivierung der Wertstoffabschöpfung aus dem Restmüll bedarf. Dadurch werden Restmüllaufkommen und durch die Nutzung der so gewonnenen Sekundärrohstoffe in Kreisläufen klimarelevante Emissionen reduziert. Als Maßnahmen kommen in Betracht:

- (i) Verankerung des Bewusstseins „Abfall gleich Rohstoff“ durch eine intensivierete Öffentlichkeitsarbeit in den Medien (Print, Online) und vor allem durch eine verstärkte Umwelterziehung im vorschulischen und schulischen Bereich
- (ii) Vereinheitlichung der Kriterien für die Trennung von Restmüll und Wertstoff
- (iii) Schaffung finanzieller Anreize durch transparente, auf das Trennverhalten der Bürger nicht kontraproduktiv wirkende Abfallgebührensyste
- (iv) Förderung eines Wohnungsbaus, der die Getrennthaltung von Abfällen zur Verwertung und zur Entsorgung am Ort der Entstehung begünstigt
- (v) Etablierung bürgerfreundlicher, haushaltsnaher Sammelsysteme.

Die Forderungen (i) bis (iii) richten sich v. a. an die **kommunalen Spitzenverbände** und die **Entsorgungsunternehmen (kommunal und privat)**. Der Einbeziehung der Bürger durch die Kommunen und durch die mit der Entsorgung beauftragten Unternehmen kommt hierbei eine zentrale Rolle zu, um beim Bürger die Akzeptanz der Getrennthaltung und -entsorgung von Abfällen zu erhöhen und gleichzeitig die Sortierdisziplin zu steigern.

Die zwischen den Gebietskörperschaften häufig feststellbaren Unterschiede bei den Trennkriterien (z. B. hinsichtlich der zugelassenen Inhalte im Gelbe/n Sack/Tonne oder in der Biotonne) hinterlassen beim Bürger oftmals den Eindruck, dass zwischen den Entscheidungsträgern kein Konsens über den richtigen Weg einer nachhaltigen Abfallwirtschaft besteht. In Zeiten wachsender Mobilität innerhalb Bayerns und nach Bayern stellen diese lokalen Unterschiede möglicherweise eher ein Hindernis als eine innovationsfördernde Eigenschaft des Subsidiaritätsprinzips dar. Diese Hürden abzubauen sollte ein gemeinsames Ziel der bayerischen Gebietskörperschaften wie auch der Entsorgungswirtschaft sein.

Die Forderungen (iv) und (v) richten sich v. a. an **Städteplaner** und **Architekten**. Ihnen muss es ein Anliegen sein, dass bei Altbausanierungen sowie bei Verdichtungs- und Neubaumaßnahmen einer nachhaltigen Abfallwirtschaft, die nach der Abfallvermeidung die Getrennthaltung und -entsorgung von Abfällen vorsieht, im sprichwörtlichen Sinn genügend „Raum“ in den Wohnungen und an den Verkehrsflächen eingeräumt wird. Die Tonnen zur Abfallentsorgung und Container-Standorte müssen v. a. in dichter bebauten Gebietsstrukturen ohne Umwege erreichbar sein, damit sich der Bürger beim

Verlassen der Wohnung auf dem Weg zum Briefkasten, zur Tiefgarage oder zur Haltestelle des ÖPNV etc. des Abfalls auf einfache Weise entledigen kann.

Auf kommunaler Ebene sind die Verantwortlichen, soweit es das Bauplanungsrecht zulässt, gefordert, bereits in Genehmigungsverfahren v. a. beim mehrgeschossigen Wohnungsbau auf Rahmenbedingungen hinzuwirken, die eine nachhaltige Abfallwirtschaft fördern.

Weiterhin erscheint es empfehlenswert, vor dem Hintergrund der Anforderungen des 2012 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) auf Ebene der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger die bestehenden Erfassungssysteme und Verwertungswege zu bewerten (Stärken-Schwächen). Hierbei gilt es zu ermitteln, wie die anspruchsvollen Recyclingziele des KrWG mit möglichst effizientem Mitteleinsatz zu erreichen sind. Maßnahmen könnten bspw. die gezielte Erfassung weiterer Fraktionen wie z. B. Kunststoffe auf Wertstoffhöfen oder der Ausbau der Holsysteme sein. Dabei sollten sich bestehende Doppelstrukturen vorteilhaft ergänzen und nicht zu einer unnötigen Konkurrenzsituation führen.

Bei all den o. g. Maßnahmen hängt die Akzeptanz bestehender, aber vor allem auch neuer Erfassungssysteme von glaubhafter und einprägender Information der Bürger durch die zentralen Akteure der Entsorgungswirtschaft (kommunal, privat) ab. So kann bspw. eine Kommune der heranwachsenden Generation die Nachhaltigkeit der Abfallwirtschaft vermitteln, indem in Kooperation mit den Kindergärten und Schulen die Funktionsweise der Kreislaufwirtschaft auf dem gemeindlichen Wertstoffhof erlebbar gemacht wird. Für solche Maßnahmen empfiehlt es sich, aktiv auf die Zusammenarbeit mit den Betreibern der Rücknahmesysteme für Verpackungen, Elektroaltgeräte, Batterien u. a. zu setzen. Die Trägerorganisationen haben sich in ihren Satzungen verpflichtet bzw. kraft Gesetz die Aufgabe, an der Aufklärung der Öffentlichkeit aktiv mitzuwirken und auf diese Weise die Akzeptanz und die Effektivität der Kreislaufwirtschaft weiter zu erhöhen.

Literatur

- [1] ANONYM:
Gesetzes zur Vermeidung, Verwertung und sonstigen Entsorgung von Abfällen und zur Erfassung und Überwachung von Altlasten in Bayern (Bayerisches Abfallwirtschafts- und Altlastengesetz – BayAbfAIG). Vom 27. Februar 1991.
GVBl. (1991) 4, S. 64–72
- [2] ANONYM:
Richtlinie des Rates vom 18. März 1991 zur Änderung der Richtlinie 75/442/EWG über Abfälle (91/156/EWG).
Abl. (1991) L 78, S. 32–37
- [3] ANONYM:
Richtlinie 2006/12/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Abfälle.
Abl. (2006) L 114, S. 9–21
- [4] ANONYM:
Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Vom 27. September 1994.
Artikel 1. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG).
BGBl. I (1994) 66, S. 2705–2728
- [5] 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
- [6] ANONYM:
Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung – VerpackV). Vom 21. August 1998.
BGBl. I (1998) 56, S. 2379–2389
- [7] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, UMWELTBUNDESAMT (HRSG.):
Umweltwirtschaftsbericht. Daten und Fakten für Deutschland. 1. Auflage, Stand: September 2011.
Berlin, Dessau-Roßlau, 2011, 203 S.
- [8] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Hausmüll in Bayern – Bilanzen 2011.
Augsburg, 2012, 92 S.
- [9] BAYERISCHE STAATSREGIERUNG, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT:
Klimaprogramm Bayern 2020. Stand September 2009.
München, 2009, 48 S.

- [10] IFEU – INSTITUT FÜR ENERGIE UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG, ÖKO-INSTITUT E.V.:
Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft. Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. FKZ
3708 31 302.
Darmstadt/Heidelberg/Berlin, 2010, 138 S.
- [11] ANONYM:
Dreizehntes Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes. Vom 31. Juli 2011.
BGBl. I (2011) 43, S. 1704–1705
- [12] BOGNER, J.; ABDELRAFIE AHMED, M.; DIAZ, C.; FAAIJ, A.; GAO, Q.; HASHIMOTO, S.; MARECKOVA, K.;
PIPATTI, R.; ZHANG, T.:
Waste Management. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to
the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds.: B.
Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, L. Meyer.
Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, S. 585–618
- [13] 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
- [14] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (HRSG.):
Restmüllanalysen – eine Grundlage eines nachhaltigen Stoffstrommanagements in der Abfall-
wirtschaft. Fachtagung am 05. Dezember 2002, Augsburg.
Augsburg, 2002, 84 S.
- [15] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen. Abschlussbericht.
Augsburg, 2003, 76 S.
- [16] 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.
- [17] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Restmüllzusammensetzung, Einflussfaktoren, Abhängigkeit von lokalen abfallwirtschaftlichen
Rahmenbedingungen (EFRE-Ziel-2-Gebiete in Bayern). Endbericht zum Forschungsvorhaben.
Augsburg, 2008, 71 S.
- [18] WEIGAND, H.; MARB, C.:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen – Teil II: Restmüllzu-
sammensetzung als Funktion von Siedlungsstruktur und Abfallwirtschaftssystem.
Müll und Abfall 37 (2005) 10, S. 522–530
- [19] WEIGAND, H.; MARB, C.:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen – Teil III: Physika-
lisch-chemische Eigenschaften und Schadstoffgehalte.
Müll und Abfall 38 (2006) 5, S. 236–246

- [20] 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
- [21] WEIGAND, H.; FRIPAN, J.; PRZYBILLA, I.; MARB, C.:
Composition and contaminant loads of household waste in Bavaria, Germany: Investigating effects of settlement structure and waste management practice. Sardinia 2003: Proceedings of the Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, 6–10 October 2003, S. Margherita di Pula, Cagliari, Sardinia, Italia. Kurzfassung in: Christensen, T.H.; Cossu, R.; Stegmann, R. (Eds.), Abstracts. CISA Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari 2003, p. 110–111, full paper CD-ROM, 10 p. (unpaginiert)
- [22] MARB, C.; PRZYBILLA, I.; WEIGAND, H.:
Restmüllzusammensetzung, Schadstoffe und physikalisch-chemische Eigenschaften. In: Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung an der Montanuniversität Leoben, Österreich, 24.–26.11.2004, Lorber, K.E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.). Verlag Glückauf, Essen, 2004, S. 685–688
- [23] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
LfU-Restmüllanalysen 1998 – 2008 Ergebnisse.
http://www.lfu.bayern.de/abfall/jvt/restmuellanalysen/doc/restmuell_zusammenfassung.ppt
- [24] 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, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 25.08.2008, Az. 33-8744.6-25008/2008.
Augsburg, 2008, 27 S.
- [25] BIFA UMWELTINSTITUT GMBH:
Abfalltrennung in Großwohnanlagen: Ein Projektbericht. bifa-Text Nr. 35.
Augsburg, 2007, 59 S.
- [26] ALBA GROUP PLC & CO. KG:
Metallrecycling profitiert von nahezu gleich bleibender Qualität der Sekundärrohstoffe.
http://www.interseroh.com/fileadmin/interseroh/content/pdfs/Informationsmaterial/Broschueren/20111014_Broschuere_CO2_ALBA_Group.pdf
- [27] FRAUNHOFER UMSICHT:
Recycling für den Klimaschutz – Ergebnisse der Studie von Fraunhofer UMSICHT und INTERSEROH zur CO₂-Einsparung durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen.
http://plasticker.de/news/docs/recycling_fuer_den_klimaschutz_broschuere.pdf
- [28] FRAUNHOFER UMSICHT:
CO₂ sparen mit der gelben Tonne.
http://www.umsicht.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/ressourcenmanagement/projekte/co2_sparen_mit_der_gelbentonne.html

- [29] IFEU – INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG GMBH:
Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff.
Heidelberg, 2006, 36 S.
http://www.papiernetz.de/docs/IFEU-Studie_Langfassung.002.pdf
- [30] FACHVERBAND KARTONVERPACKUNGEN FÜR FLÜSSIGE NAHRUNGSMITTEL E.V.:
Weniger CO₂ durch Recycling.
http://www.getraenkekarton.de/01_seiten/page.php?id=375&PHPSESSID=6f9dbcfb8dcbd1e20b000cf90bc9639c
- [31] TRENNTSTADT BERLIN (BERLINER STADTREINIGUNGSBETRIEBE):
Recyclingglas: Heute der wichtigste (Sekundär-)Rohstoff für neue Glasverpackungen.
http://www.trenntstadt-berlin.de/index.php/glas.html?file=tl_files/trenntstadt/downloads/hintergrundinformationen/Recycling_glas_in_der_Behaelterglasindustrie.pdf
- [32] UMWELTBUNDESAMT GMBH:
Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich. Report REP-0303.
Wien, 2010, 104 S.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0303.pdf>
- [33] BUNDESVERBAND SEKUNDÄRROHSTOFFE UND ENTSORGUNG E.V.:
Klimaschutz- und Ressourcenschonung gehören zusammen.
http://www.bvse.de/2/3455/Karl_Heinz_Florenz_Klimaschutz_und_Ressourcenschonung_gehoeren_zusammen
- [34] FRAUNHOFER UMSICHT:
CO₂-Reduktion durch intelligentes Recycling von Edelstahlchrott.
Hrsg.: Oryx Stainless Group.
http://www.efirst.de/kunden/oryx/de/webform2042010_d.pdf
- [35] JOHNKE, B.; BUTZ, W.:
Klimarelevanz der Abfallwirtschaft.
Umweltbundesamt, Berlin, 11 S.
http://www.uba.de/abfallwirtschaft/nachhaltigkeit/dokumente/KlimarelevanzAbfwi_Internet_05072_2.pdf
- [36] BIFA UMWELTINSTITUT GMBH:
Mündliche Mitteilung von Thorsten Pitschke am 06.08.2013.
Augsburg, 2013
- [37] BIFA UMWELTINSTITUT GMBH:
Abfallwirtschaft und Klimaschutz. bifa-Text Nr. 34.
Augsburg, 2007, 78 S.
- [38] HEYDE, M.:
Ökologischer Vergleich der stofflichen und thermischen Verwertung von Kunststoffverpackungsabfällen unter verschiedenen Randbedingungen. Ergebnisse der IFEU – Studie (2009). Vortrag auf dem Dialogforum Kreislaufwirtschaft: Reduce, Reuse, Recycle – aber bitte nicht in Deutsch-

land? Veranstalter: NABU, Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH.
Berlin, 05. November 2009

- [39] LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (LUA):
Richtlinie für die Durchführung von Untersuchungen zur Bestimmung der Menge und Zusammensetzung fester Siedlungsabfälle im Land Brandenburg (Teil I).
Fachbeiträge des Landesumweltamtes – Titelreihe Nr. 34, Stand: Juni 1998
- [40] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Öffentliche Ausschreibung nach VOL/A.
Bayerischer Staatsanzeiger (2010) 36, S. 10
- [41] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V.:
Papier und Pappe – Europäische Liste der Standardsorten für Altpapier und Pappe; Deutsche Fassung EN 643:2001.
Beuth-Verlag, Berlin, 2002
- [42] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG:
Meine Gemeinde/Stadt in Statistik kommunal.
Statistik kommunal 2010. Eine Auswahl statistischer Daten für die Kreisfreie Stadt ...
München, 2011, 28 S.
<https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/00175.php>
- [43] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V.:
Fahrbare Abfallsammelbehälter – Teil 1: Behälter mit 2 Rädern und einem Nennvolumen bis 400 l für Kammschüttungen – Maße und Formgebung; Deutsche Fassung EN 840-1:2004.
Beuth-Verlag, Berlin, 2004
- [44] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V.:
Fahrbare Abfallsammelbehälter – Teil 3: Behälter mit 4 Rädern und einem Nennvolumen bis 1 300 l mit Schiebedeckel(n), für Schüttungen mit Zapfenaufnahme und/oder für Kammschüttungen – Maße und Formgebung; Deutsche Fassung EN 840-3:2004.
Beuth-Verlag, Berlin, 2004
- [45] 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.
- [46] KRANERT, M.:
Geschäftsmüll. Abfallwirtschaftliche Bedeutung, Menge, Zusammensetzung und Einflussgrößen.
Bd. 6. Reihe Manuskripte zur Abfallwirtschaft. Hrsg.: W. Bidlingmaier, M. Kranert.
Rhombos-Verlag, Berlin, 2004, 236 S.
- [47] QUICKER, P.; FOJTIK, F.; FAULSTICH, M.:
Verfahren zur Quantifizierung von Geschäftsmüll.
Müll und Abfall 38 (2006) 10, S. 512–518

- [48] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Hausmüll in Bayern – Bilanzen 2011. Struktur- und abfallwirtschaftliche Daten der Körperschaften.
Augsburg, 2012, 683 S.
Internet: <http://www.abfallbilanz.bayern.de/doc/KSDaten.pdf>
- [49] BIFA UMWELTINSTITUT GMBH:
Bewohner zu Mitstreitern machen – Eine Praxishilfe zur Abfalltrennung in Großwohnanlagen.
bifa-Text Nr. 36.
Augsburg, 2007, 56 S.
- [50] FRICKE, K.; BAHR, T.; BIDLINGMAIER, W.; TURK, T.:
Energieeffizienz der stofflichen und energetischen Verwertung ausgewählter Abfallfraktionen.
Müll und Abfall 42 (2010) 2, S. 63–68
- [51] FRICKE, K.; BAHR, T.; THIEL, T.; KUGELSTADT, O.:
Stoffliche oder energetische Verwertung – Ressourceneffizientes Handeln in der Abfallwirtschaft.
Manuskript zum Vortrag bei dem 11. Informationsseminar „Erfahrungsaustausch Kommunale Abfallwirtschaft“ der Gaßner, Groth, Siederer & Coll. Seminare GmbH, Berlin, am 4. und 5. Juni 2009, Umweltforum Auferstehungskirche, Berlin.
Berlin, 2009, 22 S.
<http://www.ggsc-seminare.de/pdf/Fricke-Ressourceneffizientes-Handeln-in-der-Abfallwirtschaft.pdf>

Anhang

Erweiterte Obergruppe „Glas“ des Sortierkatalogs.

Stoffgruppe	Restmüll	Getrennt erfasste Wertstoffe					Beispiele Stoffgruppe
		Glas	Bioabfall	LVP	Metalle	PPK	
Obergruppe							
Untergruppe							
<i>Sortierung</i>							
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							
<i>Sortierung</i>							
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 S10 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	Holzboxen-Bruchstücke, Obstboxen, Zigarrenboxen
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	Steingutflaschen u. ä.
Kunststoffe							
Kunststoffverpackungen	x	x	x	x	x	x	Joghurt-, Margarinebecher, Reinigerflaschen, Körperpflegemittel
Kunststofffolien (Verp.)	x	x	x	x	x	x	Kunststofftüten, Kunststofftragetaschen, Einschweißfolien, > DIN A4
Sonstige Folien	x	x	x	x	x	x	Müllbeutel, Gefrierbeutel, Abdeckfolien, Landwirtschaftsfolien
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, volle Verp. 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, Zigarettschachteln
Elektronikschrott	x	x	x	x	x	x	Kabel, Platinen, Computerteile, Rasierer, Föhn, Radiowecker
Handy	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
Leuchtstofflampen	x	x	x	x	x	x	Leuchtstoffröhren, Energiesparlampen
Medikamente	x	x	x	x	x	x	Tabletten, Tropfen ohne Umverpackung
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 inkl. 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

