

TEXTE

57/2026

Teilbericht 2.4

# Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme

## Bioabfall

Dr. Bertram Zwisele, Susanne Wüst  
ARGUS – Statistik und Informationssysteme in Umwelt und Gesundheit GmbH, Berlin

**Herausgeber:**  
Umweltbundesamt



TEXTE 57/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums Umwelt,  
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3723 31 103 1

Teilbericht 2.4

## **Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme**

Bioabfall

von

Dr. Bertram Zwisele, Susanne Wüst  
ARGUS – Statistik und Informationssysteme in Umwelt  
und Gesundheit GmbH, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
buergerservice@uba.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

### Durchführung der Studie:

ARGUS – Statistik und Informationssysteme in Umwelt und Gesundheit GmbH  
Karl-Heinrich-Ulrich-Str. 20a  
10785 Berlin

cyclos GmbH  
Westerbreite 7  
49084 Osnabrück

INTECUS GmbH  
Pohlandstraße 17  
01309 Dresden

u.e.c. Berlin Umwelt- und Energie-Consult GmbH  
Levetzowstraße 10A  
10555 Berlin

Witzenhausen-Institut GmbH  
Werner-Eisenberg-Weg 1  
37213 Witzenhausen

### Abschlussdatum:

November 2024

### Redaktion:

Fachgebiet III 1.6 Kunststoffe und Verpackungen  
Dr. Franziska Krüger

### DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8151>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen\*Autoren.

### **Kurzbeschreibung: Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme**

Ziel des Methodenkonzepts für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme ist es, den Verbleib von Abfallmengen in nicht-bestimmungsgemäßen Entsorgungspfaden, hier für den Bioabfall, durch genaue Messungen zu erfassen und so zur Effizienzsteigerung der Stoffstromuntersuchungen beizutragen. Es besteht ein zunehmendes Interesse an der Rückverfolgbarkeit dieser Ströme, um Datenlücken zwischen in Verkehr gebrachten Stoffstrommengen und der tatsächlichen Rückführung zu schließen.

Die Methodik zur Durchführung von Abfallanalysen umfasst die Probenahme und Sortierung sowie die statistische Hochrechnung der Ergebnisse. Ein mehrstufiges und geschichtetes Stichprobenverfahren wird dazu verwendet, um repräsentative Daten zu gewinnen, die regionale, saisonale und Siedlungsstruktur-bedingte Unterschiede in der Abfallzusammensetzung berücksichtigen. Die Probenahme erfolgt direkt an den Sammelbehältern, gefolgt von einer detaillierten händischen Sortierung in verschiedene Stoffgruppen. Dabei werden auch spezielle Anforderungen an die technische Durchführung und die Qualitätssicherung berücksichtigt. Die Stichprobenergebnisse werden in Kampagnen auf öRE-Ebene erfasst, analysiert und statistisch hochgerechnet. Ziel ist es, genaue und belastbare Daten zur Menge und stoffliche Zusammensetzung, die über die jeweiligen Entsorgungspfade anfallenden Abfälle zu erheben, die als Grundlage für die Erfüllung von Berichts- und Untersuchungspflichten, für ein Monitoring und zur Verbesserung der Recyclingmethoden dienen.

### **Abstract: Concept Development for Regular, Bundled Waste Analyses to Monitor Selected Waste Streams**

The aim of the methodological concept for regular, bundled waste analyses to monitor selected waste streams is to record the fate of waste quantities that follow non-designated disposal paths—here referring to biowaste—through precise measurements, thereby contributing to increased efficiency in material flow investigations. There is growing interest in the traceability of these streams in order to close data gaps between the quantities of materials placed on the market and their actual recovery.

The methodology for conducting waste analyses includes sampling, sorting, and the statistical extrapolation of results. A multi-stage and stratified sampling method is used to obtain representative data that reflect regional, seasonal, and settlement-structure-related differences in waste composition. Sampling takes place directly at collection containers, followed by detailed manual sorting into various material groups. Special requirements regarding technical implementation and quality assurance are also taken into account. The sampling results are recorded, analyzed, and statistically extrapolated in campaigns at the level of public disposal providers (öRE). The aim is to generate accurate and reliable data on the quantity and material composition of waste arising through the respective disposal paths, serving as a basis for fulfilling reporting and investigation obligations, for monitoring, and for improving recycling methods.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für Bioabfall.....	11
2 Untersuchungsgegenstand.....	13
Teil A: Methodenbeschreibung der Bioabfallanalyse für das Entsorgungsgebiet der öffentlich- rechtliche Entsorgungsträger.....	15
3 Untersuchungsplanung (örE-Ebene).....	16
3.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten).....	16
3.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten.....	16
3.2.1 Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse).....	16
3.2.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf örE-Ebene).....	17
3.2.3 Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben).....	18
3.2.3.1 Definition der Stichprobeneinheiten.....	18
3.2.3.2 Notwendiger Stichprobenumfang.....	18
3.2.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten.....	19
4 Durchführung.....	22
4.1 Stichprobenahme.....	22
4.2 Siebung und Sortierung.....	22
4.3 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung.....	23
5 Auswertung und Hochrechnung (örE-Ebene).....	26
5.1 Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung.....	26
5.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten und Kampagnen.....	26
5.2.1 Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf örE-Ebene (Schicht-, Kampagnen- und Gesamtmassen).....	27
5.2.1.1 Standardisierung der Einwohnerwerte je Stichprobeneinheit.....	27
5.2.1.2 Datenprüfung der Stichprobenergebnisse.....	28
5.2.1.3 Hochrechnung auf Schichten (örE-Ebene).....	28
5.2.1.4 Hochrechnung auf Kampagnen und Gesamt (örE-Ebene).....	29
6 Dokumentation und Ergebnisbericht (örE-Ebene).....	30
7 Qualitätssicherung (örE-Ebene).....	32
Teil B: Methodenbeschreibung zur Zusammenführung und Hochrechnung der Abfallanalysen für Gesamt Deutschland.....	34

8	Untersuchungsplanung (Bundesebene).....	35
8.1	Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten) .....	35
8.2	Untersuchungsspezifische Planungsdaten.....	35
8.2.1	Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse).....	35
8.2.2	Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf Bundesebene) .....	36
8.2.3	Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben).....	36
8.2.3.1	Definition der Stichprobeneinheiten .....	36
8.2.3.2	Notwendiger Stichprobenumfang .....	36
8.2.3.3	Auswahl der Stichprobeneinheiten .....	36
9	Auswertung und Hochrechnung (Bundesebene) .....	38
9.1	Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung.....	38
9.2	Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten und Kampagnen.....	38
9.2.1	Hochrechnung auf Deutschland (DE) Schichten (Kampagnen und Gesamt) .....	38
9.2.1.1	Hochrechnung auf Schichtebene DE.....	38
9.2.1.2	Hochrechnung auf Kampagnenebene und DE-Gesamt .....	39
10	Dokumentation und Ergebnisbericht (Bundesebene).....	40
11	Qualitätssicherung (Bundesebene) .....	42
12	Quellenverzeichnis .....	43
A	Anlagen.....	45
A.1	Technische Voraussetzungen.....	45
A.2	Personelle Voraussetzungen.....	45
A.3	Arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen .....	45

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abgrenzung von Siedlungsabfällen nach Herkunft .....	14
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl für Bioabfall .....	21
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl - Bioabfall..	37

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Matrix Schichtungskriterien auf örE-Ebene.....	17
Tabelle 2:	Stoffgruppenkatalog Bioabfall für eine Standardanalyse.....	24
Tabelle 3:	Darstellung der Ergebnisse der örE nach Stoffgruppen und Schichten .....	30
Tabelle 4:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf örE Ebene nach Stoffgruppen.....	31
Tabelle 5:	Darstellung der Ergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen und Schichten .....	40
Tabelle 6:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf Bundesebene .....	41

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
<b>a</b>	Jahr
<b>ALS</b>	alt-ländliche Struktur
<b>a. n. g.</b>	anderweitig nicht genannt
<b>BioAbfV</b>	Bioabfallverordnung
<b>BioStoffV</b>	Biostoffverordnung
<b>BGK</b>	Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.
<b>DE</b>	Deutschland
<b>DUH</b>	Deutsche Umwelthilfe e.V.
<b>EAG</b>	Elektronik(alt)geräte
<b>Ew</b>	Einwohner
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>EZH</b>	Ein- und Zweifamilienhäuser
<b>Fe-Metall</b>	Eisenmetall
<b>g</b>	Gramm
<b>GF</b>	Gewichtungsfaktor
<b>ggf.</b>	gegebenenfalls
<b>GMH</b>	geschlossene Mehrfamilienhausbebauung
<b>GWA</b>	Großwohnanlage
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>km<sup>2</sup></b>	Quadratkilometer
<b>LAGA</b>	Bundes/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
<b>LAGA PN 98</b>	Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung / Beseitigung von Abfällen
<b>LfULG</b>	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft
<b>LfU RIP</b>	Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz
<b>LMA</b>	Lebensmittelabfälle
<b>m<sup>3</sup></b>	Kubikmeter
<b>Mg</b>	Megagramm
<b>MGB</b>	Müllgroßbehälter
<b>mm</b>	Millimeter
<b>MMS</b>	städtische Struktur mit Mehrfamilienhausbebauung

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>NE-Metall</b>	nicht-eisenhaltige Metalle
<b>NLS</b>	neu-ländliche Struktur
<b>örE</b>	öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
<b>OMH</b>	offene Mehrfamilienhausbebauung
<b>PPK</b>	Papier, Pappe, Karton
<b>t</b>	Tonnen
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>u. a.</b>	unter anderem
<b>Wo</b>	Woche
<b>%</b>	Prozent

## 1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für Bioabfall

Für die Abfallströme Kunststoffverpackungen (Durchführungsverordnung Europäische Union (EU) 2023/595), Verpackungen (Entscheidung 2005/270/EG), Lebensmittelabfälle (Delegierter Beschluss (EU) 2019/1597) und Altbatterien (Verordnung (EU) 2023/1542, Art. 69 Abs. 5) bestehen rechtliche Verpflichtungen der EU den Verbleib der Abfallmengen in nicht-bestimmungsgemäßen Entsorgungspfaden durch Abfalluntersuchungen alle vier bzw. fünf Jahre durch genaue und belastbare Messungen untersuchen zu lassen. Auch für Alttextilien ist die Einführung einer Untersuchungspflicht zeitnah absehbar (geeinter Kompromisstext zur Änderung der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EC)<sup>1</sup>. Um die angefallene Abfallmenge an Stoffen/Produkten und der über die bestimmungsgemäße Rücknahme erfassten Wertstoffmenge ermitteln zu können, ist es erforderlich, die stoffliche Zusammensetzung aller als relevant identifizierten Entsorgungspfade (vorrangig alle nicht-bestimmungsgemäßen Entsorgungspfade) zu bestimmen. Diese Menge kann dann mit der Menge, die über den Ansatz der in Verkehr gebrachten Menge, verglichen (Cross Check) und ausgeglichen (Balancing) werden, um bessere Werte zu erhalten.

Darüber hinaus besteht ein gesteigertes Interesse, die Stoffströme Elektro(nik)altgeräte (EAG), Bioabfälle im Restmüll und gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle einem Monitoring zu unterziehen. Für diese Stoffströme sollen alle als relevant erachteten Entsorgungspfade identifiziert und bezüglich ihrer stofflichen Zusammensetzung untersucht werden.

In dieser Methodenbeschreibung wird der Bioabfall als nicht-bestimmungsgemäßer Entsorgungspfad für Kunststoffverpackungsabfälle und als bestimmungsgemäßer Entsorgungspfad für Lebensmittelabfälle beschrieben. Kunststoffverpackungsabfälle sind mengenmäßig nicht unbedingt als relevanter Stoffstrom im Bioabfall enthalten, jedoch sind die Kontrollwerte für Gesamtkunststoff nach Bioabfallverordnung durchaus relevant (Bioabfallverordnung (BioAbfV), 1998). Für den Bioabfall wird ein Methodenkonzept entwickelt, welches die Art der Erhebung (Befragung vs. Analyse und Vollerhebung vs. Teilerhebung), die Stichprobenplanung, die Messpunkte, die Schichtungen, die Beschreibung der Befragungen/Analysen, das Hochrechnungsverfahren auf verschiedenen Ebenen und die Belastbarkeit der Ergebnisse beschreibt. Bei der Ausgestaltung des Konzepts wird auf vorhandene Systematiken und Erfahrungen, beispielsweise aus vergleichbaren Analysen von Siedlungsabfällen, zurückgegriffen. Grundlage für das in der Methodik vorzusehende Messverfahren sind die Sortierrichtlinien der Bundesländer, insbesondere die aktuellen Beschreibungen in den Sortierrichtlinien für Sachsen 2014 (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft (LfULG), 2014) und Rheinland-Pfalz 2022 (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RIP), 2022; Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz, 2023).

Die Daten zu Aufkommen und Zusammensetzung von Bioabfall sollen vergleichbar, fortschreibbar und zusammenführbar (LfU RIP, 2022, Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz, 2023) sein und sollen bezüglich ihrer Sortierstoffgruppen (Stoffgruppenkatalog) mit den für die Abfallströme darüber hinaus benötigten nicht-bestimmungsgemäßen Entsorgungspfaden kompatibel sein. Die Untersuchungsergebnisse der Bioabfallanalysen sollen für alle relevanten Stoffströme so konzipiert werden, dass die Ergebnisse für alle Stoffströme genutzt werden können (d. h. gebündelt) und damit Synergien genutzt und die Bearbeitung möglichst effizient gestaltet werden kann.

---

<sup>1</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CONSIL%3AST\\_6972\\_2025\\_INIT](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CONSIL%3AST_6972_2025_INIT) (abgerufen am 07.11.2025).

Die vorliegende Methodenbeschreibung ist in zwei Teile,

A) Abfallanalysen für öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger und

B) Zusammenführung und Hochrechnung der Abfallanalysen für Deutschland

gegliedert.

## 2 Untersuchungsgegenstand

Mit der vorliegenden Methodenbeschreibung für Bioabfall wird in **Teil A** (Kapitel 3 bis 7) die Bestimmung der Menge und der Zusammensetzung der Abfälle auf Ebene der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger und in **Teil B** (Kapitel 8 bis 11) die Zusammenführung und Hochrechnung der Abfallanalysen auf Bundesebene für Deutschland bestimmt. Die Methodenbeschreibung von **Teil B** baut auf dem Inhalt von **Teil A** auf. Bei Bioabfall ist zu beachten, dass es in Deutschland Landkreise und kreisfreie Städte ohne Biotonne oder Bringsystem (Stand Januar 2024, Deutsche Umwelthilfe e.V. (DUH)) gibt. In der hier beschriebenen Methode steht das Holsystem der Biotonne im Fokus, öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (örE) mit Bringsystem werden nicht untersucht und für örE ohne getrennte Bioabfallsammlung ist eine Untersuchung nicht möglich. Jedoch müssen bei der Hochrechnung der Ergebnisse auf Bundesebene die Einwohner dieser örE berücksichtigt werden.

Bioabfall beinhaltet sämtliche Bioabfälle aus Sammelbehältern bis zu einer Größe von 240 Liter (660 Liter in Ausnahmefällen). Unter Bioabfall fallen auch die gewerblichen Bioabfälle. Die Sammlung erfolgt haushaltsnah.

Unter Geschäftsmüll im Bioabfall werden gewerbliche Bioabfälle verstanden, die im Rahmen der kommunalen Erfassung durch die örE gemeinsam mit Bioabfall aus privaten Haushalten erfasst werden.

Die Gesamtmenge des Bioabfalls wird den jährlichen Abfallbilanzen der örE entnommen. Die Gesamtmenge des Bioabfalls aus privaten Haushalten wird über die angeschlossenen Haushalte bzw. Einwohner hochgerechnet. Um die korrekte Hochrechnung der Bioabfallmenge aus privaten Haushalten zu gewährleisten, muss bei der Durchführung der Sortieranalyse darauf geachtet werden, dass Behälter, welche gewerbliche Abfälle enthalten, nicht miterfasst werden.

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der Bioabfallmenge aus privaten Haushalten erfolgt durch Sortieranalysen der zufällig ausgewählten Stichprobenbehälter. Für die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der Geschäftsmüllmenge werden drei Varianten vorgeschlagen:

- a) Wegen der „Ähnlichkeit“ zu Bioabfall aus privaten Haushalten die gleiche stoffliche Zusammensetzung für Bioabfall aus privater und gewerblicher Herkunft angenommen.
- b) Es werden die Zusammensetzungen zufällig ausgewählter Behälter aus relevanten Branchen analysiert und zur Bestimmung der Geschäftsmüllzusammensetzung herangezogen.
- c) Es wird eine zusätzliche Schicht (Geschäftsmüll, gemeinsam mit Bioabfall über die kommunale Sammlung der örE) definiert. Als Schichtmerkmale werden relevante Branchen definiert und nach den festgelegten Stoffgruppen analysiert. Die Hochrechnung der Geschäftsmüllschicht erfolgt über die Behältervolumina.

Die Abbildung 1 zeigt die Abgrenzung von Bioabfall aus privater Herkunft, von Geschäftsmüll aus gewerblicher Herkunft, der gemeinsam mit Bioabfall aus privater Herkunft gesammelt wird und von Gewerbeabfall aus gewerblicher Herkunft, der über eine von Haus- und Geschäftsmüll getrennte Sammlung erfasst wird. Durch die Art der kommunalen Sammlung wird nicht strikt nach privater und gewerblicher Herkunft unterschieden. Der Untersuchungsgegenstand beinhaltet somit Bioabfälle aus privater und geschäftlicher Herkunft. Der über Wechselbehälter in separaten Sammlungen erfasste gemischte Gewerbeabfall ist nicht im Biomüll enthalten. Dieser Anteil im gemischten Gewerbeabfall ist nicht Teil dieser Methodenvorschrift für Bioabfall.

Die Stichprobenauswahl sowie die Hochrechnung des Geschäftsmülls sind methodisch so angelegt, dass die Anteile privater und gewerblicher Herkunft getrennt ausgewiesen werden können.

**Abbildung 1: Abgrenzung von Siedlungsabfällen nach Herkunft**

---



Quelle: Eigene Darstellung, ARGUS

**Teil A:**  
**Methodenbeschreibung der Bioabfallanalyse für das Entsorgungsgebiet der  
öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger**

### 3 Untersuchungsplanung (örE-Ebene)

Die Planung der Untersuchung umfasst alle zur Durchführung notwendigen organisatorischen und logistischen Aspekte, insbesondere die Entwicklung des Stichprobenkonzeptes sowie der Stichprobenplanung. Zur Planung der Stichprobe gehört die Festlegung der relevanten Einflussgrößen für eine geschichtete Vorgehensweise. Durch die Schichtung werden zum einen Einflussparameter auf das Untersuchungsergebnis berücksichtigt und zum anderen wird die Varianz verringert und dadurch die Wirtschaftlichkeit der Untersuchung verbessert.

Die Komplexität regionaler und bundesweiter Untersuchungen erfordert darüber hinaus eine mehrstufige Auswahl der Stichproben. Durch das mehrstufige Auswahlverfahren wird der Planungs- und Untersuchungsaufwand deutlich reduziert. Dadurch muss unter anderem (u. a.) von den Entsorgern/örE kein vollständiges Auswahlverzeichnis für alle Abfallbehälter des Untersuchungsgebietes bereitgestellt werden. Ein Auswahlverzeichnis für die nächsthöhere Ebene (Untersuchungs-Teilgebiete) ist mit dem mehrstufigen Verfahren ausreichend.

Die Planung der Stichprobenauswahl muss daher die Schichtung, die Mehrstufigkeit, den erforderlichen Stichprobenumfang sowie die Verteilung der Stichproben auf die Schichten und Stufen des Auswahlverfahrens berücksichtigen.

#### 3.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten)

Die erforderlichen Daten und Unterlagen für die Untersuchungsplanung, soweit verfügbar und von aktuellen Datenschutzbestimmungen erlaubt, sind mit Unterstützung der jeweiligen Entsorger zusammen zu stellen. Für die Auswertung und Hochrechnung der Ergebnisse werden weitere Rahmendaten zur Bebauungsstruktur, Einwohnerzahlen etc. benötigt, wie in Kapitel 5.1 erläutert.

Für die Planung werden im Regelfall folgende Rahmendaten benötigt:

- ▶ Allgemeine abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen des Untersuchungsgebietes (Gebührensysteem, Grobskizzierung der abfallwirtschaftlichen Erfassungssysteme)
- ▶ Bioabfallbehälterverzeichnis aller Grundstücke der Untersuchungs-Teilgebiete zur Behälterauswahl (Stichprobenadressen), inkl. Anzahl und Größe der aufgestellten Behälter, Abfuhrtage, Sammeltturnus
- ▶ Informationen zu weiteren abfallwirtschaftlichen Erfassungssystemen (Glas, Leichtverpackungen, Papier, Pappe, Kartonagen) oder Bioabfallbehälter
- ▶ Gebäudestrukturdaten für die Planung der Schichten (örE-Ebene und Bundesebene)
- ▶ Einwohnerstrukturdaten für die Planung der mehrstufigen Auswahl (örE-Ebene und Bundesebene)

#### 3.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten

Zu den untersuchungsspezifischen Planungsdaten gehören die Kampagnen, die Schichten und die Stichproben. Für ein mehrstufiges Auswahlverfahren werden zudem Einwohnerstrukturdaten auf verschiedenen Verwaltungs- und Planungsebenen benötigt.

##### 3.2.1 Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse)

Für die Bioabfallanalyse müssen mindestens zwei unabhängige Sortierkampagnen durchgeführt werden, eine in der vegetationsarmen und mindestens eine in der vegetationsreichen Jahreszeit.

Idealerweise sollte die Kampagne für die vegetationsarme Zeit zwischen Dezember und Mitte März, die Kampagne für die vegetationsreiche Kampagne zwischen Mitte März und November stattfinden. Dies ist durch die jahreszeitlichen und lokalen Schwankungen in der Zusammensetzung und im Aufkommen von Bioabfall begründet. Wochen, in denen das Entsorgungsverhalten von Feiertagen oder Ferienzeiten beeinflusst wird, sollten bei der Auswahl ausgeschlossen werden. Dabei sind die Behälterstandzeiten zu berücksichtigen. Gleiches gilt für planbare Einzelveranstaltungen wie Stadt- und Gemeindefeste. In touristischen Gebieten sind Abweichungen der Einwohnerzahlen durch Feriengäste in der Auswertung zu berücksichtigen (siehe hierzu Kapitel 5). Die Kampagne beginnt mit der Probenahmetätigkeit vor Ort und endet mit dem Abschluss der Analysetätigkeit. Für die Planung der Kampagnen sind lange Behälterstandzeiten zu beachten, da die in den Stichproben enthaltenen Abfälle sonst teilweise in den ausgeschlossenen Kampagnenzeiten angefallen sind.

### 3.2.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf örE-Ebene)

Die Grundgesamtheit der örE ist auf Bundesebene nach Siedlungsdichte zu schichten, siehe Kapitel 8.2.2.

Auf örE-Ebene muss die Bebauungsstruktur berücksichtigt werden. Je nach Siedlungsdichte des Gebiets können verschiedene Schichtungen vorgenommen werden, siehe Tabelle 1. Es ist auch möglich, unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten in den Entsorgungsgebieten abweichende Zuordnungen vorzunehmen.

**Tabelle 1: Matrix Schichtungskriterien auf örE-Ebene**

Siedlungsstruktur	Bebauungsstruktur
Ländlich (<150 Einwohner (Ew)/Quadratkilometer (km <sup>2</sup> ))	alt-ländliche Struktur (ALS)
	neu-ländliche Struktur (NLS)
	städtische Struktur mit Mehrfamilienhausbebauung (MMS)
	Großwohnanlagen (GWA)
Ländlich dicht (150 Ew/km <sup>2</sup> bis 750 Ew/km <sup>2</sup> )	alt-ländliche Struktur (ALS)
	neu-ländliche Struktur (NLS)
	städtische Struktur mit Mehrfamilienhausbebauung (MMS)
	Großwohnanlagen (GWA)
Städtisch/Großstädtisch (>750 Ew/km <sup>2</sup> )	Ein- und Zweifamilienhäuser (EZH)
	offene Mehrfamilienhausbebauung (OMH)
	geschlossene Mehrfamilienhausbebauung (GMH)
	Großwohnanlagen (GWA)

Die in Tabelle 1 aufgeführten Bebauungsstrukturen sind über folgende Eigenschaften definiert:

**Alt-ländliche Struktur:** Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Grundstücke unterschiedlicher Größe in gewachsener Struktur, Einzelbehälterstandplätze.

**Neu-ländliche Struktur:** Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Grundstücke im Vergleich zur alt-ländlichen Struktur meist kleiner und geringerer Grünflächenanteil, überwiegend in einem Zug errichtete „Wohnparks“ bzw. „Neubausiedlungen“, Einzelbehälterstandplätze.

**Städtische Struktur mit Mehrfamilienhausbebauung:** Wohnbebauung drei- bis fünfgeschossig, meist mindestens sechs Wohneinheiten je Hauseingang, dichte und offene Bebauung mit unterschiedlichem Anteil an Grünflächen, oft eingehauste Standplätze, gegebenenfalls (ggf.) hoher Gewerbeanteil.

**Geschlossene Mehrfamilienhausbebauung:** Wohnbebauung drei- bis fünfgeschossig, meist mindestens sechs Wohneinheiten je Hauseingang, dichte Bebauung mit geringem Anteil an Grünflächen, oft eingehauste Standplätze, ggf. hoher Gewerbeanteil.

**Offene Mehrfamilienhausbebauung:** Wohnbebauung drei- bis fünfgeschossig, meist mindestens sechs Wohneinheiten je Hauseingang, offene Bebauung mit hohem Anteil an Grünfläche, oft eingehauste Standplätze, ggf. hoher Gewerbeanteil.

**Ein- und Zweifamilienhäuser:** Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Einzelbehälterstandplätze.

**Großwohnanlagen:** Fünf- und mehrgeschossige Wohnbebauung mit weitgehend anonymer Abfallentsorgung, geringer Anteil an Grünfläche (insbesondere Bäume und Sträucher), meist eingehauste Standplätze.

### **3.2.3 Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben)**

#### **3.2.3.1 Definition der Stichprobeneinheiten**

Eine Stichprobeneinheit umfasst ein Abfallvolumen von ca. 1 Kubikmeter (m<sup>3</sup>). Eine Stichprobeneinheit kann sich aus 4 x 240 Liter Müllgroßbehälter (MGB), 8 x 120 Liter MGB, 12 x 80 Liter MGB, 16 x 60 Liter MGB bzw. entsprechenden Kombinationen zusammensetzen.

#### **3.2.3.2 Notwendiger Stichprobenumfang**

Der notwendige Stichprobenumfang ergibt sich aus der Genauigkeitsanforderung für die Zielgröße (Gesamtmenge und die mengenmäßig relevanten Hauptstoffgruppen). Bei einem mehrstufigen Auswahlverfahren ist zudem festzulegen, für welche Ebene die Genauigkeitsanforderung zu erreichen ist. Als Zielgröße für die Abfallmenge auf öRE-Ebene wird ein Konfidenzintervall mit einer Breite von  $\pm 10$  Prozent (%) um den geschätzten Wert (zulässige Abweichung) bei einem Konfidenzniveau von 95 % festgelegt. Daraus ergeben sich 6 bis 8 Stichprobeneinheiten je Schicht mit einer Genauigkeitsanforderung von ca.  $\pm 24$  %. Für das Gesamtergebnis auf öRE-Ebene werden dann  $\pm 10$  % Genauigkeit und für die Ergebnisse auf Bundesebene werden Genauigkeiten von  $\pm 3$  bis 5 % für die hochgerechnete Abfallmenge erreicht.

Für jede Sortieranalyse auf öRE-Ebene müssen somit insgesamt mindestens 48 Stichprobeneinheiten untersucht werden, das heißt 24 Stichprobeneinheiten pro Kampagne. Um die Mindestanforderungen zu erfüllen, können zwei zeitlich versetzte Kampagnen durchgeführt werden, bei denen zum Beispiel drei Schichten und 8 Stichprobeneinheiten oder vier Schichten und 6 Stichprobeneinheiten (insgesamt jeweils 48 Einzelstichproben) berücksichtigt werden.

Je nach Untersuchungsrahmen und -anforderung kann ein höherer Stichprobenumfang bestimmt werden (siehe Teilbericht 1 zum Forschungsvorhaben Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme; Forschungskennzahl 3723 31 103 1).

### 3.2.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten

Aus den Rahmendaten des Untersuchungsgebietes aus Kapitel 3.1 ist eine Auswahl an Bioabfallbehältern für die Stichprobenahme zu erstellen. In der kommunalen Bioabfallsammlung sind schätzungsweise bis zu 10 %, durchschnittlich ca. 5 %, der Abfallmasse aus kleinen Gewerbebetrieben enthalten, welcher gemeinsam mit Behältern aus privaten Haushalten gesammelt wird. Für die Bestimmung der Bioabfallmenge aus privaten Haushalten ist es wichtig sicherzustellen, dass nur Behälter ohne gewerblichen Müll in die Stichprobenauswahl einbezogen werden. Um alle Privathaushalte, die Behälter mit und ohne gewerbliche Anteile nutzen, zu berücksichtigen, wird für Behälter, welche Bioabfall aus privater und gewerblicher Herkunft enthalten angenommen, dass der Bioabfall aus privater Herkunft in diesen Behältern die gleiche Zusammensetzung und pro-Kopf-Menge aufweist, wie der Bioabfall aus Behältern mit rein privater Nutzung.

Die Stichproben sollten so festgelegt werden, dass der Anteil der jeweiligen Behältergrößen am Stichprobenvolumen und der Volumenanteil des jeweiligen Behältertyps am Gesamtbehältervolumen der Schicht möglichst gleich sind. Damit wird eine gleichwahrscheinliche Auswahl der Stichproben gewährleistet. Auf eine Schichtung nach Behältergrößen wird verzichtet. Die Stichprobenauswahl erfolgt geschichtet und mehrstufig in folgenden Schritten:

- ▶ Zufällige Auswahl von Untersuchungsgebieten (örE) nach Schichten auf Bundesebene (Ebene 1; Auswahlstufe 1; nur für die Auswahl auf Bundesebene erforderlich)
- ▶ Zufällige Auswahl von Untersuchungs-Teilgebieten (Ortsteile/Wohnblocks/Straßenzüge) nach Schichten auf örE-Ebene aus jedem Untersuchungsgebiet (Ebene 2; Auswahlstufe 2)
- ▶ Zufällige Auswahl von Stichprobenbehältern mit einem Gesamtvolumen von ca. 1 m<sup>3</sup> aus den zufällig ausgewählten Untersuchungs-Teilgebieten (Ebene 2; Auswahlstufe 3)

Bei Stichprobeneinheiten, die aus mehreren Stichprobenbehältern (Teilstichproben ≤ 240 Liter) bestehen, muss bei der Auswahl darauf geachtet werden, dass alle Teilstichproben einer Stichprobeneinheit die gleiche Standzeit bzw. Sammelturmusse aufweisen.

Da die Probenahme möglichst am Tag der regelmäßigen Abfuhr stattfinden soll, muss der Abfuhrtag bei der Auswahl der Stichproben berücksichtigt werden.

Zudem ist wichtig, genügend Ersatzadressen für die geplante Stichprobenahme bereitzuhalten, da nicht garantiert werden kann, dass an allen vorgesehenen Stichprobenadressen tatsächlich Stichproben gewonnen werden können. Diese Ersatzadressen sind analog zu den planmäßigen Stichprobenadressen vor der Probenahme auszuwählen.

Werden in einem Untersuchungsgebiet Identensysteme<sup>2</sup> eingesetzt, kann es zu einem sehr geringen Behälterbereitstellungsgrad kommen. Hier es ist wichtig, eine ausreichende Anzahl an Adressen für die Stichprobe zu berücksichtigen. Dabei sollte die Standzeit der Behälter bei der Erstellung der Auswahl der Stichproben berücksichtigt werden.

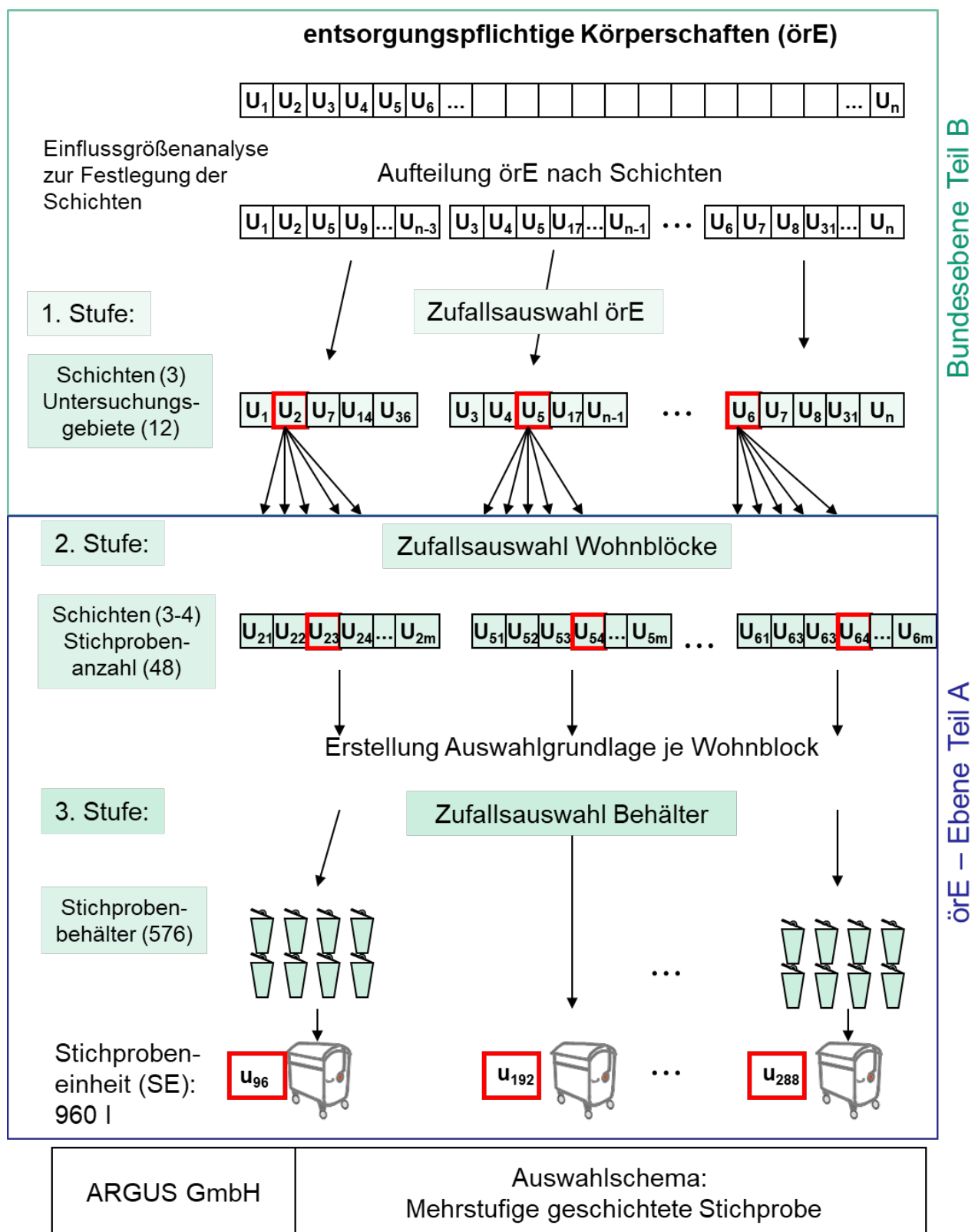
---

<sup>2</sup> Identensysteme dienen der eindeutigen Identifikation und Erfassung von Abfallbehältern mittels eines Barcodes oder Chip. Dadurch ist die Möglichkeit einer haushaltsbezogenen Zuordnung, Mengenabbrechung, Füllstandserfassung oder/und eine Optimierung der Sammelrouten gegeben.

Für die späteren Berechnungen muss die Anzahl der an die Behälter angeschlossenen Einwohner im Vorfeld oder im Nachgang der Beprobung bei der zuständigen Behörde abgefragt werden.

Abbildung 2 zeigt eine schematische Übersicht der Verteilung der Stichprobenanzahlen auf die Schichten und die Auswahlstufen.

**Abbildung 2: Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl für Bioabfall**



Quelle: Eigene Darstellung, ARGUS

## 4 Durchführung

Zur Durchführung gehören die Stichprobenahme und die Sortierung des Bioabfalls. Die technischen und arbeitsschutzbezogenen Voraussetzungen für die praktische Durchführung einer Bioabfallanalyse sind in den Anlagen A.1 bis A.3 enthalten.

### 4.1 Stichprobenahme

Die Stichprobenahme ist am Tag der regulären Bioabfallabfuhr unmittelbar vor der eigentlichen Sammlung der Abfälle an den ausgewählten Grundstücken/Adressen durchzuführen. Dabei sind für jede Stichprobenadresse die nachfolgend genannten Kenngrößen zu dokumentieren:

- ▶ Stichprobenadresse
- ▶ Anzahl der Behälter
- ▶ Volumen der Behälter
- ▶ Abfallmasse je beprobtem Behälter [Kilogramm (kg)/Behälter] (ggf. bei der Sortierung)
- ▶ bei gebührenrelevanten Identensystemen zusätzlich Behälterstandzeit
- ▶ der Füllgrad des Stichprobenbehälters sowie die Füllgrade aller weiteren bereitgestellten Bioabfallbehälter an der Stichprobenadresse

Falls Abweichungen von dieser Vorgehensweise erforderlich sind, müssen diese dokumentiert und bei der weiteren Auswertung berücksichtigt werden.

Falls bestimmte Stichprobeneinheiten ungeeignet sind, sollten diese durch vorher ausgewählte Ersatzadressen getauscht werden. Bei niedrigen Bereitstellungsgraden ist es wichtig, die Anzahl der Stichprobenadressen durch ausreichende Ersatzadressen zu ergänzen. Vorhandene zusätzliche Abfallmengen sind zu erfassen und zu dokumentieren. Behälter mit erkennbar gewerblichen Abfällen sollten von der Probennahme ausgeschlossen werden.

Die Probennahme am Grundstück umfasst grundsätzlich den gesamten Inhalt der Abfallbehälter einschließlich eventuell vorhandener zusätzlicher Beistellungen. Die Entnahme erfolgt direkt am Grundstück durch Behältertausch oder Umleerung.

### 4.2 Siebung und Sortierung

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung des Bioabfalls erfolgt durch händische Sortierung nach Stoffgruppen für jede Schicht. Die Siebung und Sortierung des Bioabfalls muss von geschultem Personal unter Aufsicht eines erfahrenen Sortierleiters durchgeführt werden. Die Bioabfälle sind vor der Sortierung bei 40 Millimeter (mm) bzw. 10 mm zu sieben. Hierfür können Trommelsiebe oder Sortiertische mit Rundlochung eingesetzt werden.

Die Fraktion > 40 mm wird vollständig händisch nach der ersten und zweiten Differenzierungsebene sortiert. Für die Fraktion > 10 mm bis 40 mm wird eine repräsentative Stichprobe gezogen, die händisch nach der ersten Differenzierungsebene sortiert wird. Eine Sortierung der Fraktion ≤ 10 mm ist nicht erforderlich.

Folgende Massen sind anhand einer Wiegung für eine Stichprobeneinheit (ca. 1 m<sup>3</sup>) für die folgende Auswertung zu ermitteln und zu dokumentieren:

- ▶ Masse Stichprobeneinheit vor Siebung (Masse der gefüllten Behälter – Masse der Leerbehälter)
- ▶ Fraktion > 40 mm:
  - Einzelmassen der Stoffgruppen nach händischer Sortierung
- ▶ Fraktion >10 mm bis 40 mm: Masse nach Siebung
  - Einzelmassen der Stoffgruppen nach händischer Sortierung
- ▶ Fraktion ≤ 10 mm:
  - Gesamtmasse

Am Ende der Untersuchung liegen für jede Stichprobeneinheit die Massen- bzw. Massenanteile der einzelnen Stoffgruppen vor. Für jede Schicht wird eine statistische Charakterisierung der Stoffgruppen durchgeführt, die mindestens den Mittelwert, Median, Minimal- und Maximalwert umfasst. Weitere statistische Analysen sind bei Bedarf durchzuführen.

#### **Mess- bzw. Darstellungsgenauigkeit**

Für die Genauigkeit der Massebestimmung sind folgende Genauigkeitsgrenzen einzuhalten. Soweit diese Anforderungen aufgrund der konkreten Bedingungen bei der Datenaufnahme nicht eingehalten werden können, sind die Abweichungen von den festgelegten Genauigkeitsgrenzen zu dokumentieren. Minimal ist folgende Messgenauigkeit einzuhalten:

- ▶ Behälter ≤ 240 Liter: 100 Gramm (g) (Einzelmessung)

#### **Optional: Analyse der Feinfraktion (≤ 10 mm)**

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass der Organikanteil der Fraktion ≤ 10 mm zwischen 40 und 60 % beträgt. Bei der Darstellung des Organikanteils in den Ergebnissen (siehe Kapitel 6) besteht die Möglichkeit entweder einen standardisierten Wert von 50 % anzusetzen oder diesen anhand einer chemischen Analyse exakt zu bestimmen. Für eine chemische Analyse ist eine Beprobung der Feinfraktion nach den Bestimmungen der Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung / Beseitigung von Abfällen (LAGA PN 98) (Bundes/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), 2001) und im Labor das Verfahren der Glühverlustbestimmung anzuwenden.

Zur chemischen Analyse wird die Feinfraktion (≤ 10 mm) für jede Kampagne und Schicht sorgfältig gemischt und homogenisiert. Anschließend wird eine repräsentative Teilmenge von 100 bis 200 g entnommen. Diese Probe wird im Labor getrocknet und gesiebt. Fremdpartikel, die größer als 1 mm sind, werden gegebenenfalls vor der chemischen Analyse mithilfe von Pinzetten und Lupen entfernt.

Der ermittelte Glühverlust der Fraktion ≤ 10 mm ist zusätzlich zu den Angaben anzugeben.

### **4.3 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung**

Bei der manuellen Sortierung sind die Abfälle den in Tabelle 2 aufgelisteten Stoffgruppen zuzuordnen und die Massen bzw. Massenanteile anhand einer Verwiegung zu dokumentieren.

In Tabelle 2 ist der Stoffgruppenkatalog für eine Standard-Analyse dargestellt. Werden zusätzliche Informationen oder eine Sonderanalyse benötigt, kann dieser Stoffgruppenkatalog um Stoffgruppen und Differenzierungsebenen erweitert werden, diese sind vollständig im

Anhang A1 des Abschlussberichts „Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme“ aufgelistet.

**Tabelle 2: Stoffgruppenkatalog Bioabfall für eine Standardanalyse**

Differenzierungs-ebene*	Stoffgruppe	Beispiele
1	Eisenmetalle (Fe-Metalle)	Fe-Metall-Verpackungen, sonstige Fe-Metall-Gegenstände
2	Nicht-eisenhaltige Metalle (NE-Metalle)	NE-Metall-Verpackungen, sonstige NE-Metall-Gegenstände
3	Papier, Pappe, Karton (PPK)	Papierverpackungen, Druckerzeugnisse, sonstiges PPK
4	Kunststoffe	Kunststoffverpackungen, sonstige Kunststoffe
5	Glas	Glasverpackungen, sonstiges Glas
6	Bioabfälle	Küchen- und Nahrungsabfälle
6-1	Lebensmittelabfälle (LMA)	LMA verpackt/unverpackt
6-1-1	LMA unverpackt (optional entpackt)	unverpackte Küchen- und Nahrungsabfälle
6-1-1-1	Küchenabfälle	Obst- und ungekochte Gemüsereste, Kartoffel- und Eierschalen, Kaffeefilter, Teebeutel (kompostierbare LMA)
6-1-1-2	Nahrungsabfälle	Brot, Kuchen, Fleisch, Fisch, Knochen, gekochte Gemüseabfälle (nicht kompostierbare LMA)
6-1-1-3	Küchen-/Nahrungsabfälle, nicht differenziert	nicht zuordenbare unverpackte LMA (optional)
6-1-2	Lebensmittel (verpackt)	gefüllte/nicht restentleerte Lebensmittelverpackungen, volle Getränkebehältnisse, volle Konservendosen
6-1-2-1	Verpackte Lebensmittel - Glas	gefüllte/nicht restentleerte Lebensmittelverpackungen: Konservendosen aus Metall
6-1-2-2	Verpackte Lebensmittel - Metall	gefüllte/nicht restentleerte Lebensmittelverpackungen: Konserven aus Glas, Glasflaschen
6-1-2-3	Verpackte Lebensmittel - Kunststoff	gefüllte/nicht restentleerte Lebensmittelverpackungen: Tüten, Schalen, Becher aus Kunststoff
6-2	Gartenabfälle	Laub, Rasenschnitt, Strauchwerk, Äste, Wurzelwerk, Topfpflanzen, Schnittblumen
6-3	Sonstige Organik	Kleintierstreu aus Holz, Hanfseile, Haare, Tierkadaver
7	Holz	Holzverpackungen, sonstiges Holz
8	Verbunde	Verbundverpackungen, sonstige Verbunde

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
9	Mineralik, Inertstoffe	Keramik, Steine, Bauschutt, Geschirr, sonstige Mineralstoffe
10	Schadstoffe (Problemabfälle)	Batterien, Altmedikamente, Altchemikalien, altöhlhaltige Materialien, sonstige schadstoffbelastete Materialien, belastete Bauabfälle
11	Sonstige Abfälle	Alttextilien, nicht restentleerte Verpackungen (außer Lebensmittel), Stoffe anderweitig nicht genannt (a. n. g.)
12	Fraktion ≤ 10 mm	Siebdurchgang ≤ 10 mm

\*Die Anzahl der Ziffern kennzeichnet die Differenzierungseben (z. B. „1“: erste Differenzierungsebene, „1-1“: zweite Differenzierungsebene, „1-1-1“: dritte Differenzierungsebene, „1-1-1-1“: vierte Differenzierungsebene etc.)

Für die Zuordnung der Abfälle zu den Stoffgruppen gelten folgende Besonderheiten (Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK), Gebietsanalyse, 2018):

- ▶ Ungeöffnete Lebensmittelverpackungen werden geöffnet und die Stoffe nach den jeweiligen Stoffgruppen sortiert (Sortierung innerhalb der Lebensmittelabfälle bis Differenzierungsebene 6-1-1-3). Soweit das Öffnen von Lebensmittelverpackungen bei der Sortieranalyse technisch schwierig oder unzumutbar ist, kann die Masse der Verpackung nach Maßgabe der nachfolgenden Tabelle näherungsweise berechnet werden (Sortierung innerhalb der Lebensmittelabfälle bis Differenzierungsebene 6-1-2-3). Hierzu ist die Masse des verpackten Lebensmittels mit dem in der untenstehenden Auflistung angegebenen %-Anteil der Verpackung zu multiplizieren. Das Ergebnis wird als Masse der Verpackung angenommen, die Differenz zur Gesamtmasse (das eigentliche Lebensmittel) wird dem Bioabfall zugeordnet. Diese näherungsweise Berechnung findet nur dann Anwendung, wenn die Lebensmittelverpackung nicht geöffnet, entleert und die Stoffe den jeweiligen Stoffgruppen zugeordnet werden:
  - verpackte Lebensmittel, ungeöffnet, Kunststoff: 8 %
  - verpackte Lebensmittel, ungeöffnet, Glas: 30 %, mit Metalldeckel 15 %
  - verpackte Lebensmittel, ungeöffnet, Metall: 8 %
- ▶ Geöffnete, nicht restentleerte Lebensmittelverpackungen werden bei der Sortierung entleert

## 5 Auswertung und Hochrechnung (örE-Ebene)

Aufgrund der Komplexität des Bioabfalls im Untersuchungsgebiet wird für die Analyse auf örE und auf Bundesebene ein mehrstufiges geschichtetes Auswahlverfahren angewandt (siehe Kapitel 3.2). Der Prozess der Auswertung und Hochrechnung umfasst die Vorbereitung der Stichprobendaten für die Hochrechnung, die Prüfungen auf Vollständigkeit und Plausibilität sowie die Berechnungen der Schätzwerte. Die Stichprobendaten werden abschließend in umgekehrter Reihenfolge zum Auswahlmodell entlang der Auswahlstufen 3 bis 1 hochgerechnet.

Zur Vorbereitung der Hochrechnung werden die erforderlichen Rahmendaten zusammengestellt (Kapitel 5.1) und gemäß der Berechnungsformeln in Kapitel 5.2 hochgerechnet.

### 5.1 Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung

Folgende allgemeine Daten (Rahmendaten) sind zur Auswertung und Hochrechnung der Sortiererergebnisse im Regelfall notwendig:

- ▶ Gesamteinwohnerzahl des Entsorgungsgebietes, Einwohnerzahlen der Schichten sowie angeschlossene Einwohner pro Stichprobeneinheit
- ▶ Standzeiten der Stichprobenbehälter

Weiterführende Rahmendaten können sein:

- ▶ Daten zur Siedlungsstruktur (Volkszählungen, Gebäude-, Wohnungszählungen, etc.)
- ▶ Schwankungen der Einwohnerzahlen in Abhängigkeit von der Jahreszeit (z. B. Urlaubsgäste in Fremdenverkehrsgebieten, abwesende Einwohner in Ferienzeiten, Pendler und Studenten)
- ▶ Behältergrößen/-arten unter Beachtung der Anzahl der angeschlossenen Einwohner
- ▶ angebotene Wertstoffbehälter (Glas, Leichtverpackungen, Papier, Pappe und Kartonagen)
- ▶ Entfernung des Entsorgungsgebietes zum Wertstoffhof
- ▶ Umfang und Förderung der Eigenkompostierung
- ▶ Grüngutsammelmengen

### 5.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten und Kampagnen

Die Hochrechnung der Massen der Stichprobeneinheiten (in kg je Stichprobeneinheit) auf die Grundgesamtheit (Gesamtmassen in Tonnen je Jahr, in einwohnerspezifischen Massen in Kilogramm je Einwohner und Jahr, Stoffgruppen in Prozent) je örE erfolgt in einem einstufigen Verfahren. Auf örE-Ebene werden die Stufen 2 und 3 vereinfachend für die Hochrechnung der Schätzwerte zusammengefasst.

## 5.2.1 Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf örE-Ebene (Schicht-, Kampagnen- und Gesamtmassen)

### 5.2.1.1 Standardisierung der Einwohnerwerte je Stichprobeneinheit

Die an die Stichproben angeschlossenen Einwohner werden anhand ihrer Behältervolumina am Grundstück und ihrer Standzeiten auf eine einheitliche Bezugsgröße (Einwohner für Standzeit je Behältervolumen) standardisiert. Um gleichwahrscheinliche Auswahlbedingungen zu gewährleisten, sollten die Schwankungen der Volumina der Einzelstichproben unter Berücksichtigung der Standzeiten möglichst gering sein.

Zur Ermittlung der standardisierten Einwohnerzahl je Stichprobeneinheit sind im ersten Schritt die angeschlossenen Behältervolumina der Stichprobeneinheit und die Behälterstandzeiten auf eine Woche zu beziehen. Bei regelmäßig bereitgestellten Behältern ist die Standzeit aller beprobten Behälter einer Stichprobeneinheit in der Regel bekannt. Gewöhnlich handelt es sich um ein- bis vierwöchentliche Sammelturnusse. Stichprobenbehälter  $\leq 240\text{l}$ , welche in einer Stichprobe zusammengefasst werden, müssen die gleiche Standzeit bzw. den gleichen Sammelturnus besitzen. Ebenso muss bei der Auswahl eines Stichprobenbehälters an einer Ladestelle mit mehreren Behältern auf die gleiche Standzeit bzw. den gleichen Sammelturnus aller Behälter geachtet werden. Bei der Ermittlung der angeschlossenen Einwohner ist an Stichprobenadressen mit unbeprobten Behältern auf eine repräsentative Gewichtung der Einwohnerzahl je Abfallbehälter zu achten.

Bei unregelmäßigen Standzeiten ist die Zeitspanne zwischen der letzten Leerung vor dem Kampagnenzeitraum und dem Probenahmetag zu verwenden. Für die Berechnung der standardisierten Einwohnerzahl sind nur die Einwohner derjenigen Stichprobenadressen zu berücksichtigen, bei denen ein Behälter vorgefunden wurde.

Mit Gleichung 1 wird die standardisierte Einwohnerzahl [ $n \cdot \text{Woche (Wo)}$ ] für jede Stichprobeneinheit  $j$  ermittelt.

$$\underline{eW}_j = \sum_{r=1}^{n_r} eW_r \cdot \frac{BV_{TSPE,r}}{BV_r} \cdot \frac{t_r}{7} \quad \text{Gleichung 1}$$

$\underline{eW}_j$	standardisierte Einwohnerzahl der Stichprobeneinheit $j$
$eW_r$	Einwohnerzahl an Ladestelle $r$ an denen Teilstichprobeneinheiten ( $TSPE$ ) entnommen werden
$BV_{TSPE,r}$	Behältervolumen aller Teilstichprobeneinheiten ( $TSPE$ ) an der Ladestelle $r$
$BV_r$	gesamtes Behältervolumen an der Ladestelle $r$
$t_r$	Standzeit der Teilstichprobenbehälter an der Ladestelle $r$ in Tagen
$j$	Laufindex für Stichprobeneinheiten
$r$	Laufindex der Ladestellen zur Entnahme von Teilstichprobeneinheiten ( $TSPE$ )
$n_r$	Anzahl der Ladestellen $r$ an denen Teilstichprobeneinheiten ( $TSPE$ ) entnommen werden

Die Anzahl der Stichprobeneinwohner je örE-Schicht wird dann über die Gleichung 2 berechnet.

$$ew_{h_{\text{örE}}} = \sum_{j=1}^{n_j} \underline{ew}_j \quad \text{Gleichung 2}$$

$ew_{h_{\text{örE}}}$  Summe der standardisierten Einwohner je örE-Schicht

### 5.2.1.2 Datenprüfung der Stichprobenergebnisse

Die Stichprobendaten werden zunächst auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft. Die Plausibilitätsprüfung der Stichprobenwerte erfolgt über standardisierte einwohnerspezifische Wochenwerte. Die standardisierten einwohnerspezifischen Wochenwerte werden über das Verhältnis aus der Stichprobenmasse der Einzelwerte und den standardisierten Einwohnerzahlen der Stichproben nach Gleichung 3 berechnet.

$$\underline{\dot{x}}_{j,l} = \frac{\dot{x}_{j,l}}{\underline{ew}_j} \quad \text{Gleichung 3}$$

$\underline{\dot{x}}_{j,l}$  standardisierte einwohnerspezifische Stichprobenmasse der Stichprobeneinheit  $j$  und Stoffgruppe  $l$

$\underline{ew}_j$  standardisierte Einwohnerzahl der Stichprobeneinheit  $j$

$\dot{x}_{j,l}$  Stichprobenmasse der Stichprobeneinheit  $j$  und Stoffgruppe  $l$

Die Datenprüfung erfolgt in mehreren Schritten. Als erster Schritt müssen die Sammel- und Sortierprotokolle auf Vollständigkeit geprüft werden. Nach der Übertragung in ein elektronisches Format werden die Daten stichprobenartig auf Fehler in der Übertragung mit den Papierprotokollen verglichen.

Als nächster Schritt muss die Richtigkeit der Daten gewährleistet werden. Dies wird anhand eines Vergleiches der Sammelmengen für eine Stichprobe mit den Summen der Einzelmassen je Stoffgruppe durchgeführt. Jegliche Abweichungen zwischen den Sammelmassen und den sortierten Massen müssen in der Größe dokumentiert und plausibel aufgelöst werden. Können größere nicht erklärbare Abweichungen nicht aufgelöst werden, führt dies zum Ausschluss der Stichprobe.

### 5.2.1.3 Hochrechnung auf Schichten (örE-Ebene)

Die Stichprobenergebnisse ( $\dot{x}_{k,h_{\text{örE}},j,l}$ ) in kg/(Ew\*Wo) werden für die jeweilige Kampagne und das jeweilige Entsorgungsgebiet (der örE) auf Schichtebene mit Gleichung 4 hochgerechnet.

$$\hat{X}_{k,h_{\text{örE}},l} = \frac{EW_{h_{\text{örE}}}}{ew_{h_{\text{örE}}}} \cdot \sum_{j=1}^{n_j} \dot{x}_{k,h_{\text{örE}},j,l} \quad \text{Gleichung 4}$$

$\hat{X}_{k,h_{\text{örE}},l}$  Schätzwert für die Masse je Kampagne  $k$ , Schicht  $h_{\text{örE}}$  und Stoffgruppe  $l$

$\dot{x}_{k,h_{\text{örE}},j,l}$  Stichprobenmasse je Kampagne  $k$ , Schicht  $h_{\text{örE}}$ , Stichprobeneinheit  $j$  und Stoffgruppe  $l$

$EW_{h_{\text{örE}}}$  angeschlossene Einwohner je Schicht  $h_{\text{örE}}$  in der Grundgesamtheit

$ew_{h_{\text{örE}}}$  angeschlossene Einwohner je Schicht  $h_{\text{örE}}$  in der Stichprobe

$k$	<i>Laufindex für Kampagnen</i>
$j$	<i>Laufindex für Stichprobeneinheiten</i>
$h_{örE}$	<i>Laufindex für örE-Schichten</i>
$l$	<i>Laufindex für Stoffgruppen</i>
$n_j$	<i>Anzahl der Stichprobeneinheiten</i>

#### 5.2.1.4 Hochrechnung auf Kampagnen und Gesamt (örE-Ebene)

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen je Kampagne erfolgt auf den Schätzwerten der örE-Schichten im Entsorgungsgebiet mit Gleichung 5.

Die ermittelten absoluten Abfallmengen je Kampagne sind auf den Gesamtwert je örE auf den Betrachtungszeitraum im Kalenderjahr mit folgendem Gewichtungsfaktoren ( $GF_k$ ) gemäß Gleichung 6 hochzurechnen:

- vegetationsreiche Zeit: 67 %
- vegetationsarme Zeit: 33 %

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{h_{örE}=1}^{n_{h_{örE}}} \hat{X}_{k,h_{örE},l} \quad \text{Gleichung 5}$$

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} GF_k \cdot \frac{365}{7} \cdot \hat{X}_{k,l} \quad \text{Gleichung 6}$$

$\hat{X}_{k,l}$	<i>Schätzwert für die Masse je Kampagne <math>k</math> und Stoffgruppe <math>l</math></i>
$\hat{X}_{k,h_{örE},l}$	<i>Schätzwert für die Masse je Kampagne <math>k</math>, Schicht <math>h_{örE}</math> und Stoffgruppe <math>l</math></i>
$\hat{X}_l$	<i>Schätzwert für die Masse je Stoffgruppe <math>l</math></i>
$k$	<i>Laufindex für Kampagnen</i>
$l$	<i>Laufindex für die Stoffgruppen</i>
$h_{örE}$	<i>Laufindex für örE-Schichten</i>
$n_{h_{örE}}$	<i>Anzahl der örE-Schichten</i>
$n_k$	<i>Anzahl der Kampagnen</i>
$GF_k$	<i>Gewichtungsfaktor für vegetationsarme bzw. -reiche Zeit je Kampagne</i>
$\frac{365}{7}$	<i>Hochrechnungsfaktor von Wochenwerte auf Jahreswerte</i>

Im Ergebnis liegt die absolute Abfallmenge in Tonnen pro Jahr [t/a] beziehungsweise der Jahresdurchschnittswert der einwohnerspezifischen Abfallmenge in Kilogramm pro Einwohner und Jahr [kg/(Ew\*a)] vor. Hieraus kann die prozentuale Zusammensetzung der Bioabfälle in Masse-% abgeleitet werden.

## 6 Dokumentation und Ergebnisbericht (örE-Ebene)

In der Dokumentation sind die ausgewählten Untersuchungsgebiete kurz zu beschreiben, die Bioabfallmenge und die Anzahl der beprobten Bioabfallbehälter, jeweils für jede Kampagne, anzugeben.

Im Anhang des Ergebnisberichts sind die aus der Sortierung erhaltenen Ergebnisse für jede Kampagne prozentual (Masse-%), einwohnerspezifisch [ $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{Wo})$ ] und gesamt [ $\text{kg}/\text{Wo}$ ] zu hinterlegen.

Die Ergebnisse der Hochrechnung auf die örE-Schichten sind sowohl prozentual (Masse-%), einwohnerspezifisch [ $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{a})$ ] als auch gesamt [Megagramm (Mg)/a] für alle Stoffgruppen darzustellen.

Eine schematische Ergebnisdarstellung bei a-Anzahl an Stoffgruppen der ersten Differenzierungsebenen und einer b-Anzahl an Stoffgruppen der zweiten Differenzierungsebenen nach Schichten (1 bis c) ist in Tabelle 3 gezeigt. Werden weitere Differenzierungsebenen benötigt, können diese Tabellen problemlos nach diesem Schema erweitert werden. Die Tabelle 4 kann jeweils für beide Kampagnen und für die Gesamtergebnisse beider Kampagnen verwendet werden.

**Tabelle 3: Darstellung der Ergebnisse der örE nach Stoffgruppen und Schichten**

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Schicht 1 <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Schicht 2 <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Schicht c <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Gesamt (Einheit) <sup>2</sup>
1	1. Differenzierungsebene				
1-1	2. Differenzierungsebene				
1-2					
1-b					
2					
2-1					
2-2					
2-b					
a					
a-1					
a-2					
a-b					

[1] Als Bezeichnung kann die jeweilige örE-Schicht eingesetzt werden.

[2] Als Einheit kann für die Ergebnisdarstellung für eine Kampagne Masse-%,  $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{Wo})$  und  $\text{kg}/\text{Wo}$  eingesetzt werden, für Jahresgesamtergebnisse Masse-%,  $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{a})$  und  $\text{Mg}/\text{a}$ .

**Tabelle 4: Darstellung der Gesamtergebnisse auf öRE Ebene nach Stoffgruppen**

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Gesamt kg/Ew*Wo	Gesamt Masse-%	Gesamt Mg/Wo
1	1. Differenzierungsebene			
1-1	2. Differenzierungsebene			
1-2				
1-b				
2				
2-1				
2-2				
2-b				
a				
a-1				
a-2				
a-b				

## 7 Qualitätssicherung (örE-Ebene)

Die ermittelten einwohnerspezifischen Abfallmengen können vom wahren Wert (bestimmt über die Wiegescheine an der Entsorgungsanlage im Kampagnenzeitraum) abweichen. Dies erklärt sich durch das Hochrechnungsverfahren, in dem die Abfallmengen aus privaten Haushalten hochgerechnet werden. Die Differenz zu den Verwiegungsmengen ist auf die in Bioabfall enthaltenen gewerblichen Anteile zurückzuführen. Für die hochgerechnete Bioabfallmenge aus privaten Haushalten ist eine Abweichung von 5 % bis 15 % unterhalb der verwogenen Menge zu erwarten. Für die Plausibilisierung sollten die Abfallmengen der letzten 3 Jahre herangezogen werden.

Abweichungen zwischen dem Hochrechnungsergebnis der Sortieranalyse und den tatsächlichen Abfallmengen, welche außerhalb des methodisch zu erklärenden Bereichs liegen, sind zu dokumentieren. Die Ursachen für die möglichen Abweichungen sind darzustellen und bei der Fortführung/ Wiederholung der Abfalluntersuchung entsprechend zu berücksichtigen. Bei großen Abweichungen, welche ein Mehrfaches der Standardabweichung (ab 5-fach) betragen, ist eine Überprüfung der Stichprobenergebnisse, der Auswertung und Hochrechnung und ggf. eine Korrektur vorzunehmen.

Ein weiteres Kriterium für die Beurteilung der Qualität der Abfalluntersuchung stellt die Berechnung des Zufallsfehlers nach Vorliegen der Untersuchungsergebnisse dar. Vereinfachend kann hierzu die Varianz der Massen der Stichprobeneinheiten herangezogen werden. Weicht der aus den Stichproben berechnete Fehler erheblich von dem in der Stichprobenplanung festgelegten Fehler ab – beispielsweise eine berechnete Abweichung von  $\pm 25\%$  im Vergleich zu einer zulässigen Abweichung von  $\pm 10\%$  – kann dies auf das Vorliegen weiterer methodischer Fehler hindeuten und sollte daher einer Überprüfung unterzogen werden.

Für eine einfache Varianzberechnung beschränken sich die statistischen Kennziffern auf die Berechnung der Varianz, des Variationskoeffizienten und des relativen Fehlers (Konfidenzintervalls). Das Einhalten des Unsicherheitsbereiches wird anhand eines Vergleichs des relativen Fehlers mit den gewünschten, zuvor festgelegten Genauigkeitsbereichen bei einer festgelegten Sicherheit bestimmt. Als erster Schritt hierfür wird die Berechnung des geschätzten Mittelwertes  $\hat{\bar{x}}$  der Einzelstichproben ( $\dot{x}_i$ ) durchgeführt (siehe Gleichung 7).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n \dot{x}_i) \cong \hat{\bar{X}} \quad \text{Gleichung 7}$$

$\bar{x}$	<i>Mittelwert der Stichprobenergebnisse</i>
$\dot{x}_i$	<i>Stichprobenmasse für die Stichprobe i</i>
$\hat{\bar{X}}$	<i>Schätzwert für den Mittelwert</i>
$n$	<i>Anzahl der Stichproben</i>
$i$	<i>Laufindex für die Stichprobe i</i>

In Gleichung 8 wird eine Varianzberechnung auf Basis der Stichprobenwerte für den gesamten örE abgebildet, der als Obergrenze für den örE-Schätzwert angenommen werden kann. Die genaue Berechnung für das mehrstufige geschichtete Modell ist aufwendig und kann daher durch die beschriebene Näherung ersetzt werden.

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad \text{Gleichung 8}$$

$\sigma_{\bar{x}}^2$             *Varianz des Schätzwertes*

Gleichung 9 gibt die Formel wieder, um den Variationskoeffizient zu bestimmen, mit Gleichung 10 lässt sich der relative Fehler der Ergebnisse bestimmen.

$$\text{varkoeff}(x_i) = \frac{\sqrt{\sigma_{\bar{x}}^2}}{\bar{x}} \quad \text{Gleichung 9}$$

$\text{varkoeff}(x_i)$  *Variationskoeffizient der Einzelwerte*

$$\varepsilon_{x_i} = \text{varkoeff}(x_i) \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \quad \text{Gleichung 10}$$

$\varepsilon_{x_i}$             *Relativer Fehler*

$\alpha$                 *Irrtumswahrscheinlichkeit*

Bei starken Abweichungen der Ergebnisse zwischen dem geplanten zulässigen Fehler und dem berechneten Fehler können folgende Fehlerquellen ursächlich sein und entsprechend eingeordnet und korrigiert werden: die Zuordnung von Blöcken, fehlerhafte Einwohnerdaten oder Ausreißer in den Sammelmengen, welche auf ungewöhnliche Ereignisse, wie zum Beispiel Bau- oder Renovierungsarbeiten zurückzuführen sind. Nach gründlicher Prüfung und Vergleich mit früheren Untersuchungen können diese Ausreißer ggf. ausgeglichen werden oder die betroffene Stichprobeneinheit muss aus der Analyse ausgeschlossen werden.

**Teil B:**  
**Methodenbeschreibung zur Zusammenführung und Hochrechnung der  
Abfallanalysen für Gesamt Deutschland**

## 8 Untersuchungsplanung (Bundesebene)

Die Planung der Untersuchung umfasst alle zur Planung und Hochrechnung notwendigen Aufgaben, insbesondere die Entwicklung des Stichprobenkonzeptes auf Bundesebene. Zur Planung der Stichproben gehört die Festlegung der relevanten Einflussgrößen für eine geschichtete Vorgehensweise. Durch die Schichtung werden zum einen die Einflussparameter auf das Untersuchungsergebnis berücksichtigt. Zum anderen wird die Varianz verringert und dadurch die Wirtschaftlichkeit der Untersuchung verbessert.

Die Komplexität bundesweiter Untersuchungen erfordert darüber hinaus eine mehrstufige Auswahl der Stichproben. Durch das mehrstufige Auswahlverfahren wird der Planungs- und Untersuchungsaufwand deutlich reduziert. Dadurch muss kein vollständiges Auswahlverzeichnis für alle öRE des Untersuchungsgebietes bereitgestellt werden.

Die Planung der Stichprobenauswahl muss daher die Schichtung, die Mehrstufigkeit, den erforderlichen Stichprobenumfang sowie die Verteilung der Stichproben auf die Schichten und Stufen des Auswahlverfahrens berücksichtigen.

### 8.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten)

Die erforderlichen Daten und Unterlagen für die Untersuchungsplanung, soweit verfügbar und von aktuellen Datenschutzbestimmungen erlaubt, sind durch den jeweiligen Entsorger zur Verfügung zu stellen. Für die Auswertung und Hochrechnung der Ergebnisse werden weitere Rahmendaten zur Bebauungsstruktur, Einwohnerzahlen etc. benötigt, diese sind in Kapitel 5.1 erläutert.

Für die Planung werden im Regelfall folgende Rahmendaten benötigt:

- ▶ Allgemeine abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen des Untersuchungsgebietes (Gebührensysteem, Grobskizzierung der abfallwirtschaftlichen Erfassungssysteme)
- ▶ Bioabfallbehälterverzeichnis aller Grundstücke der Untersuchungs-Teilgebiete zur Behälterauswahl (Stichprobenadressen) inkl. Informationen zur Anzahl und Größe der aufgestellten Behälter, Abfuhrtage, Sammeltturnus, Zeitpunkt der letzten Behälterentleerung bei gebührenrelevanten technisierten Systemen und ggf. Behälterstandzeiten enthält
- ▶ Informationen zu weiteren abfallwirtschaftlichen Erfassungssystemen (Glas, Leichtverpackungen, Papier, Pappe, Kartonagen) oder Bioabfallbehältern
- ▶ Gebäudestrukturdaten für die Planung der Schichten
- ▶ Einwohnerstrukturdaten für die Planung der mehrstufigen Auswahl

### 8.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten

Zu den untersuchungsspezifischen Planungsdaten gehören die Kampagnen, die Schichten und die Stichproben. Für ein mehrstufiges Auswahlverfahren werden zudem Einwohnerstrukturdaten auf verschiedenen Verwaltungs- und Planungsebenen benötigt.

#### 8.2.1 Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse)

Da die Festlegung auf öRE-Ebene bereits erfolgt ist, ergibt sich die Hochrechnung auf die Bundesebene aus den öRE-Daten.

## 8.2.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf Bundesebene)

Die Grundgesamtheit des Analysegebiets ist auf Bundes- und örE-Ebene nach Siedlungsdichte, und Bebauungsstruktur zu schichten.

Auf bundesweiter Ebene muss folgendes Kriterium berücksichtigt werden:

► Siedlungsdichte:

- Ländlich: <150 Ew je km<sup>2</sup>
- Ländlich dicht: 150 Ew je km<sup>2</sup> bis 750 Ew je km<sup>2</sup>
- Städtisch/Großstädtisch: >750 Ew je km<sup>2</sup>

## 8.2.3 Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben)

### 8.2.3.1 Definition der Stichprobeneinheiten

Auswahleinheiten auf Bundesebene sind die örE. Bundesweit gibt es 393 örE (Dornbusch et al., 2020).

### 8.2.3.2 Notwendiger Stichprobenumfang

Der notwendige Stichprobenumfang auf Bundesebene ergibt sich aus der Verteilung der örE nach Schichten. Daraus ergeben sich auf Bundesebene 12 ausgewählte örE, die auf vier unterschiedliche Regionen (Nord, West, Ost und Süd)<sup>3</sup> verteilt sind.

Als Zielgröße wurde die Genauigkeitsanforderung auf örE-Ebene mit einer zulässigen Abweichung von  $\pm 10\%$  der Abfallmenge bei einem Konfidenzniveau von 95 % festgelegt. Daraus ergeben sich 6 bis 8 Stichprobeneinheiten je Schicht mit einer Genauigkeitsanforderung von ca.  $\pm 24\%$ . Für das Gesamtergebnis auf örE-Ebene werden dann  $\pm 10\%$  Genauigkeit und für die Ergebnisse auf Bundesebene werden Genauigkeiten von  $\pm 3$  bis 5 % für die hochgerechnete Abfallmenge erreicht.

Für jede Sortieranalyse auf örE-Ebene müssen somit insgesamt mindestens 48 Stichprobeneinheiten untersucht werden, das heißt 24 Stichprobeneinheiten pro Kampagne.

Daraus ergibt sich ein Stichprobenumfang für die bundesweite Untersuchung von 4 x 3 (Schichten auf Bundesebene) x 48 Stichprobeneinheiten auf örE-Ebene entsprechend einer Gesamtanzahl von 576 Stichprobeneinheiten.

Je nach Untersuchungsrahmen und -anforderung kann ein höherer Stichprobenumfang bestimmt werden (siehe Teilbericht 1 zum Forschungsvorhaben Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme; Forschungskennzahl 3723 31 103 1).

### 8.2.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten

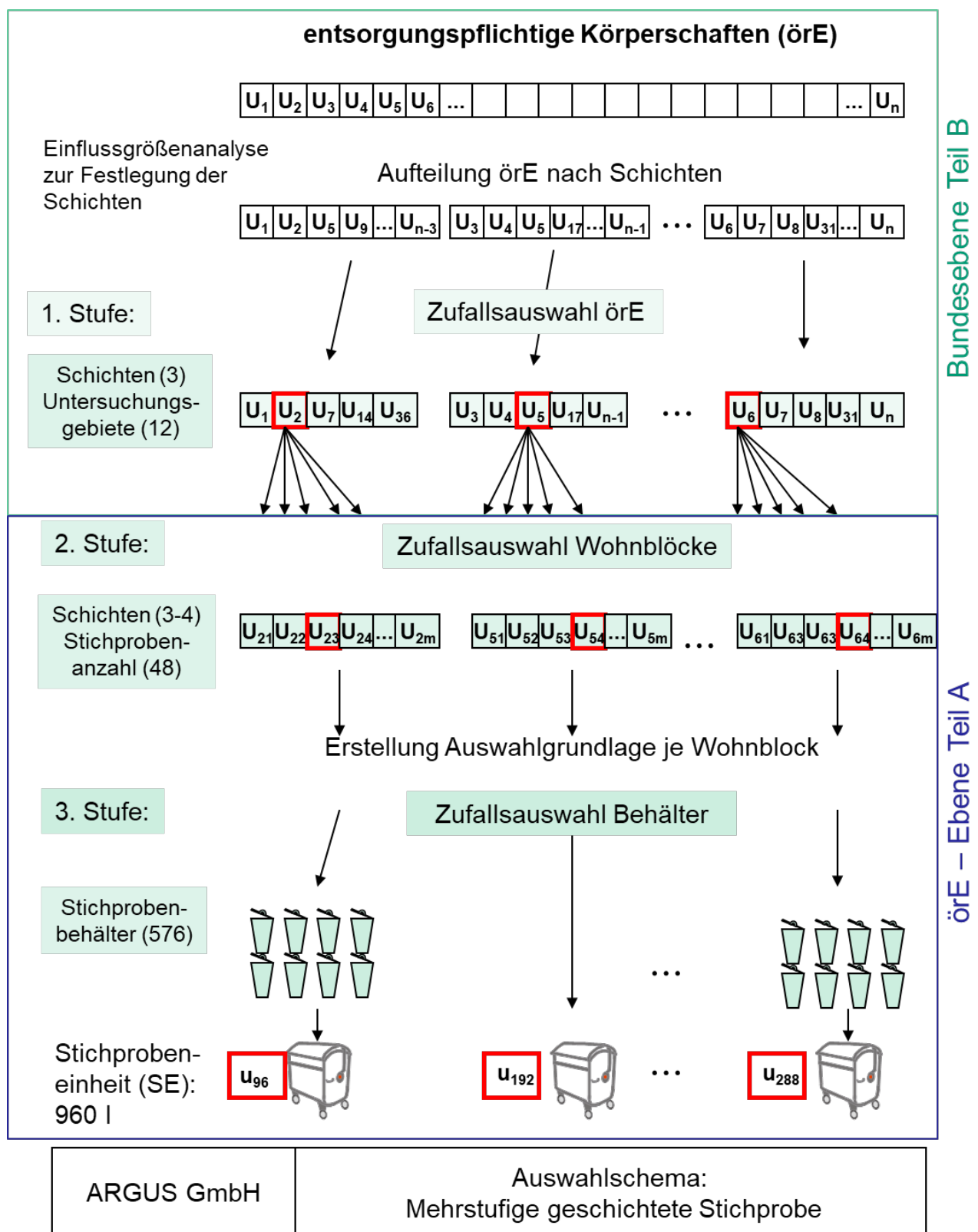
Die Festlegung der Auswahleinheiten (Untersuchungsgebiete sind die örE) auf Bundesebene erfolgt nach dem Zufallsprinzip, wobei die Zuordnung nach Regionen und Schichten zu beachten ist.

Abbildung 3 zeigt eine schematische Übersicht der Verteilung der Stichprobenanzahlen auf die Schichten und die Auswahlstufen.

---

<sup>3</sup> **Nord:** Hamburg, Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Bremen; **Ost:** Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Sachsen; **Süd:** Bayern, Baden-Württemberg; **West:** Nordrhein-Westfalen, Saarland, Rheinland-Pfalz, Hessen

**Abbildung 3: Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl - Bioabfall**



Quelle: Eigene Darstellung, ARGUS

## 9 Auswertung und Hochrechnung (Bundesebene)

Aufgrund der Komplexität des Bioabfalls im Untersuchungsgebiet wird für die bundesweite Analyse ein mehrstufiges geschichtetes Auswahlverfahren angewendet. Der Prozess der Auswertung und Hochrechnung der örE-Ergebnisse auf Bundesebene umfasst die Hochrechnung der Schichtwerte der örE auf die Bundesebene nach Kampagnen und Insgesamt.

Zur Vorbereitung der Hochrechnung werden die erforderlichen Rahmendaten zusammengestellt (Kapitel 8.1) und gemäß der Berechnungsformeln in Kapitel 9.2.1 hochgerechnet.

### 9.1 Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung

Folgende allgemeine Daten (Rahmendaten) sind zur Auswertung und Hochrechnung der Sortiererergebnisse im Regelfall notwendig:

- ▶ Gesamteinwohnerzahl des Entsorgungsgebietes, Einwohnerzahlen der Schichten sowie angeschlossene Einwohner pro Stichprobeneinheit

Weiterführende Rahmendaten können sein:

- ▶ Daten zur Siedlungsstruktur (Volkszählungen, Gebäude-, Wohnungszählungen, etc.)
- ▶ Schwankungen der Einwohnerzahlen in Abhängigkeit von der Jahreszeit (z. B. Urlaubsgäste in Fremdenverkehrsgebieten, abwesende Einwohner in Ferienzeiten, Pendler und Studenten)

### 9.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten und Kampagnen

Die Hochrechnung der Massen der Stichprobeneinheiten (in kg je Stichprobeneinheit) auf die Grundgesamtheit (Gesamtmassen in Tonnen je Jahr, in einwohnerspezifischen Massen in Kilogramm je Einwohner und Jahr, Stoffgruppen in Prozent) Deutschland erfolgt in einem zweistufigen Verfahren. Auf Ebene 2 werden die Stufen 2 und 3 für die Hochrechnung der Schätzwerte auf örE-Ebene vereinfachend zusammengefasst. Für die Ebene 1 werden die örE-Ergebnisse auf Bundesergebnisse hochgerechnet.

#### 9.2.1 Hochrechnung auf Deutschland (DE) Schichten (Kampagnen und Gesamt)

Basierend auf den örE-Ergebnissen auf Schichtebene werden die bundesweiten Schätzwerte für DE-Schichten, Kampagnen und Insgesamt berechnet. Die Hochrechnung erfolgt entlang der Einwohner über die Schichten.

##### 9.2.1.1 Hochrechnung auf Schichtebene DE

Die Ergebnisse der örE-Untersuchungen sind nach den folgenden Schritten auf die jeweiligen bundesweiten Schichten (Deutschland Gesamt) und das Kalenderjahr hochzurechnen. Mit Gleichung 11 werden die Schichtergebnisse der örE [t/(Wo)] auf die bundesweiten Schichtwerte hochgerechnet.

$$\hat{X}_{k,h_{DE},l} = \sum_{m=1}^{n_m} \sum_{h_{örE}=1}^{n_{h_{örE}}} \hat{X}_{k,h_{DE},m,h_{örE},l} \quad \text{Gleichung 11}$$

$\hat{X}_{k,h_{DE},l}$  Schätzwert für die Masse je Kampagne  $k$ , Schicht  $h_{DE}$ , und Stoffgruppe  $l$

$\hat{X}_{k,h_{DE},m,h_{örE},l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne $k$ , Schicht $h_{DE}$ , Schicht $h_{örE}$ , Primärstichprobe $m$ , und Stoffgruppe $l$ (in Gleichung 4 als $\hat{X}_{k,h_{örE},l}$ bezeichnet)
$k$	Laufindex für Kampagnen
$h_{örE}$	Laufindex für örE-Schichten
$h_{DE}$	Laufindex für DE-Schichten
$m$	Laufindex für Primärstichproben
$l$	Laufindex für Stoffgruppen
$n_{h_{örE}}$	Anzahl der örE Schichten
$n_m$	Anzahl der Primärstichproben (zufällig ausgewählte örE auf Bundesebene, welche den Schichten auf Bundesebene zugeteilt werden)

### 9.2.1.2 Hochrechnung auf Kampagnenebene und DE-Gesamt

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen je Kampagne erfolgt auf Basis der Schätzwerte der DE-Schichten nach Gleichung 12. Die ermittelten absoluten Abfallmengen je Kampagne sind auf den Gesamtwert für Deutschland im Betrachtungszeitraum im Kalenderjahr gemäß Gleichung 13 hochzurechnen. Der Gewichtungsfaktor  $GF_k$  wurde in Kapitel 5.2.1.4 definiert.

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{h_{DE}=1}^{n_{h_{DE}}} \frac{EW_{h_{DE}}}{ew_{h_{DE}}} \cdot \hat{X}_{k,h_{DE},l} \quad \text{Gleichung 12}$$

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} GF_k \cdot \frac{365}{7} \cdot \hat{X}_{k,l} \quad \text{Gleichung 13}$$

$\hat{X}_l$	Schätzwert für die Masse je Stoffgruppe $l$
$\hat{X}_{k,l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne $k$ und Stoffgruppe $l$
$\hat{X}_{k,h_{DE},l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne $k$ , Schicht $h_{DE}$ , und Stoffgruppe $l$
$k$	Laufindex für Kampagnen
$h_{DE}$	Laufindex für DE-Schichten
$n_{h_{DE}}$	Anzahl der DE-Schichten
$n_k$	Anzahl der Kampagnen
$EW_{h_{DE}}$	angeschlossene Einwohner in der Schicht $h_{DE}$ in der Grundgesamtheit
$ew_{h_{DE}}$	angeschlossene Einwohner in der Schicht $h_{DE}$ in der Stichprobe
$GF_k$	Gewichtungsfaktor für vegetationsarme bzw. -reiche Zeit (siehe Kapitel 5.2.1.4)
$\frac{365}{7}$	Hochrechnungsfaktor von Wochenwerte auf Jahreswerte

Im Ergebnis liegt die absolute Abfallmenge in Tonnen pro Jahr [t/a] beziehungsweise der Jahresdurchschnittswert der einwohnerspezifischen Abfallmenge in Kilogramm pro Einwohner und Jahr [kg/(Ew\*a)] vor. Hieraus kann die prozentuale Zusammensetzung der Bioabfälle in Masse-% abgeleitet werden.

## 10 Dokumentation und Ergebnisbericht (Bundesebene)

Vor der Darstellung der ermittelten Ergebnisse der Bundesebene im Ergebnisteil ist eine Dokumentation der vorhandenen Rahmenbedingungen notwendig, um die methodische Transparenz der Hochrechnung zu gewährleisten. Insbesondere ist die Verteilung der Einwohner je Schicht auf Bundesebene zahlenmäßig zu dokumentieren. Außerdem sind weiterführende Daten für die Hochrechnung der Bundesebene anzugeben.

Im Ergebnisteil des Berichtes soll die auf Bundesebene hochgerechnete Abfallzusammensetzung dargestellt werden. Die Ergebnisse sollen nach Schichten und Stoffgruppen prozentual (Masse-%), einwohnerspezifisch [ $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{a})$ ] und absolut [ $\text{Mg}/\text{a}$ ] dargestellt werden.

Des Weiteren wird im Anhang eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse gewünscht. Diese Tabellen sollen die Ergebnisse der einzelnen Schichten auf Bundesebene wiedergeben. Hierbei soll jeweils eine Tabelle für jede vorhandene Schicht auf Bundesebene dargestellt werden. Diese sollen die Jahresdurchschnittswerte nach Stoffgruppen und Schichten auf Bundesebene enthalten. Für jede Schicht auf Bundesebene wird dazu die prozentuale sowie die jährliche einwohnerspezifische Menge und die Gesamtjahresmenge dargestellt.

Eine schematische Darstellung der Ergebnisse ist in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt. Bezeichnungen und Indizes sind analog zur Ergebnisdarstellung auf öRE-Ebene (siehe Kapitel 6).

**Tabelle 5: Darstellung der Ergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen und Schichten**

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Schicht 1 <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Schicht 2 <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Schicht c <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Gesamt (Einheit) <sup>2</sup>
1	1. Differenzierungsebene				
1-1	2. Differenzierungsebene				
1-2					
1-b					
2					
2-1					
2-2					
2-b					
a					
a-1					
a-2					
a-b					

[1] Als Bezeichnung kann die jeweilige DE-Schicht eingesetzt werden.

[2] Als Einheit kann für die Ergebnisdarstellung für eine Kampagne Masse-%,  $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{Wo})$  und  $\text{kg}/\text{Wo}$  eingesetzt werden, für Jahresgesamtergebnisse Masse-%,  $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{a})$  und  $\text{kg}/\text{a}$ .

**Tabelle 6: Darstellung der Gesamtergebnisse auf Bundesebene**

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Gesamt kg/Ew*a	Gesamt Masse-%	Gesamt Mg/a
1	1. Differenzierungsebene			
1-1	2. Differenzierungsebene			
1-2				
1-b				
2				
2-1				
2-2				
2-b				
a				
a-1				
a-2				
a-b				

## 11 Qualitätssicherung (Bundesebene)

Die Ergebnisse auf Bundesebene können daher aus den Resultaten der örE-Schicht abgeleitet werden. Wenn die Unsicherheitsbereiche auf der örE-Ebene eingehalten werden, ist zu erwarten, dass diese auch auf Bundesebene durch die größere Stichprobenanzahl eingehalten werden. Basierend auf Erfahrungswerten aus bestehenden Analysen wird angenommen, dass die Varianz auf Bundesebene zwischen 3 bis 5 % liegt.

## 12 Quellenverzeichnis

- BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2017): Methodenentwicklung zur Bestimmung der Sortenreinheit von Bioabfällen.; HUK-Dateien, 1. Auflage Juni 2017. Verfasser: Intecus GmbH.  
[https://www.kompost.de/fileadmin/user\\_upload/Dateien/HUK-Dateien/2018/Q2\\_2018/Abschlussbericht-final.pdf](https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/HUK-Dateien/2018/Q2_2018/Abschlussbericht-final.pdf) (abgerufen am 20.03.2025).
- BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. [Hrsg.] (2018): Gebietsanalyse Bestimmung der Sortenreinheit von Biogut eines Entsorgungsgebietes, Köln-Gremberghoven.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) [Hrsg.] (2013); Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV) vom 15. Juli 2013 (BGBl. I S. 2514). [https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/a227-biostoffverordnung-2013-08.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/a227-biostoffverordnung-2013-08.pdf?__blob=publicationFile&v=7) (abgerufen am 30. Oktober 2025).
- DUH - Deutsche Umwelthilfe e.V. [Hrsg.] (2024): Landkreise und kreisfreie Städte ohne Biotonne, Stand: 10.01.2024, Berlin.  
[https://www.duh.de/fileadmin/user\\_upload/download/Pressemitteilungen/Kreislaufwirtschaft/240110\\_%C3%9Cbersicht\\_Landkreise\\_und\\_kreisfreie\\_St%C3%A4dte\\_ohne\\_Biotonne\\_final.pdf](https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Pressemitteilungen/Kreislaufwirtschaft/240110_%C3%9Cbersicht_Landkreise_und_kreisfreie_St%C3%A4dte_ohne_Biotonne_final.pdf) (abgerufen am 27.11.2024).
- Dornbusch, H.-J.; Hannes, L.; Santjer, M.; Böhm, C.; Wüst, S.; Zwisele, B.; Kern, M.; Siepenkothen, H.-J.; Kanthak, M. (2020): Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien. UBA-Texte 113/2020. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vergleichende-analyse-von-siedlungsrestabfaellen> (abgerufen am 17.06.2024).
- Europäische Kommission. Entscheidung 2005/270/EG der Kommission vom 22. März 2005 zur Festlegung der Tabellenformate für die Datenbank gemäß der Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 86, 5.04.2005.
- Europäische Kommission. Delegierter Beschluss (EU) 2019/1597 der Kommission vom 3. Mai 2019 zur Ergänzung der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf eine gemeinsame Methodik und Mindestqualitätsanforderungen für die einheitliche Messung des Umfangs von Lebensmittelabfällen. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 248, 27.09.2019.
- Europäische Kommission. Durchführungsverordnung (EU) 2023/595 der Kommission vom 16. März 2023 zur Festlegung des Formulars für die Übersicht über die auf nicht recycelten Verpackungsabfällen aus Kunststoff basierenden Eigenmittel gemäß der Verordnung (EU, Euratom) 2021/770 des Rates. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 78, 17.03.2023.
- Europäisches Parlament und Rat. Verordnung (EU) 2023/1542 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 191, 28.07.2023, Art. 69 Abs. 5.
- Rat der Europäischen Union. (2025): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle – Analyse des endgültigen Kompromisstextes mit Blick auf eine Einigung. Dokumenten-Nr. 6972/25 vom 13. März 2025. Nicht veröffentlicht. Nur in englischer Sprache verfügbar.
- LfU RIP - Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz [Hrsg.] (2022): Richtlinie zur Analyse von Restabfall in Rheinland-Pfalz nach dem Stand der Technik 2022, Mainz.
- LfULG - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft [Hrsg.] (2014): Richtlinie zur einheitlichen Abfallanalytik in Sachsen - Sächsische Sortierrichtlinie, Eigenverlag, Dresden.

LAGA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall. (2001): LAGA PN 98 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. [https://www.laga-online.de/documents/m32\\_laga\\_pn98\\_1503993280.pdf](https://www.laga-online.de/documents/m32_laga_pn98_1503993280.pdf) (abgerufen am 20.03.2025).

Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz. (2023): 75. Jahrgang Nr. 12. Mainz. [231115 GAP-SP\\_Ministerblatt Nr.12.pdf](#) (abgerufen am 27.10.2025).

## A Anlagen

### A.1 Technische Voraussetzungen

- ▶ kalibrierte Waagen mit eigener Stromversorgung für die Ermittlung der Masse bei der Stichprobenahme
- ▶ Fahrzeug für das Einsammeln und Transportieren der Stichproben- bzw. Stichprobenbehälter
- ▶ Behälter für das Umleeren von Stichproben (z. B. 1.100 Liter Behälter oder Big Bags)
- ▶ Sortierhalle (überdacht, windgeschützt und mit Stromanschluss)
- ▶ Siebaggregate (Trommel- oder Flachsiebe) mit Rundlochung bei 10 mm und 40 mm
- ▶ Behälter für die sortierten Stoffgruppen
- ▶ kalibrierte Waage(n) für die Massebestimmung der gesiebten und sortierten Fraktionen
- ▶ Container für die Zwischenlagerung der sortierten Stichproben
- ▶ ggf. Probenahmebehälter für die Glühverlustbestimmung

### A.2 Personelle Voraussetzungen

- ▶ Sortierleiter mit Sortiererfahrung
- ▶ geschulte Sortierkräfte

### A.3 Arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen

Nach geltenden Arbeitsschutzbestimmungen ist der Durchführende von Abfallanalysen zu Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit und Prävention verpflichtet. Die einschlägigen Vorschriften müssen beachtet werden.

Laut § 7 Biostoffverordnung (BioStoffV) sind vor Arbeitsbeginn Gefährdungsbeurteilungen durchzuführen und entsprechende Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit der Mitarbeiter abzuleiten. Vor dem Arbeitsbeginn ist anhand von Unterweisungen auf mögliche Gefährdungen hinzuweisen, Schutzmaßnahmen sind zu erläutern.

Bei der Sortierung von Abfällen ist darauf zu achten, dass Abfälle aus dem medizinischen Bereich (z. B. Kanülen) enthalten sein können und die Gefahr von Stichverletzungen besteht.

Bei Sortierungen in Entsorgungsanlagen ist gemeinsam mit dem Anlagenbetreiber zu gewährleisten, dass die Sortierung außerhalb von Fahrwegen stattfindet und das Sortierpersonal sich nicht im Bereich der Fahrwege aufhält.

Neben den bestehenden Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften sowie den Richtlinien, Sicherheitsregeln und Merkblättern der Unfallversicherungsträger sind mindestens folgende Arbeitsschutzmaßnahmen anzuwenden:

- ▶ Eine geeignete Arbeitsschutzausrüstung für die mit der Abfalluntersuchung beauftragten Personen ist sicherzustellen. Sie umfasst den ganzen Körper bedeckende

Arbeitsschutzbekleidung sowie schnittsichere, an der Oberseite diffusionsfähige Handschuhe, Atemschutz, Schutzschuhe und ggf. Kopfbedeckung, Schutzbrillen und Gehörschutz.

- ▶ Zum Zwecke des Brandschutzes ist ein Handfeuerlöscher bereitzuhalten.
- ▶ Eine Grundimmunisierung der Sortierkräfte auf Tetanus, Diphtherie, Hepatitis A und B sowie Poliomyelitis wird empfohlen.
- ▶ Das Essen, Trinken und Rauchen ist im gesamten Arbeitsbereich zu untersagen.

Bei Arbeitsunfällen müssen unverzügliche Erste-Hilfe-Maßnahmen sowie ggf. eine ärztliche Betreuung gewährleistet sein. Der tägliche Abtransport der sortierten Abfälle ist anzustreben. Der Hallenboden ist mindestens einmal täglich mechanisch zu reinigen. Bei der Stichprobenahme bzw. Datenaufnahme vor Ort (im Verkehrsraum) sowie bei der Sortierung ist Signalkleidung (Warnweste) zu tragen.