

TEXTE

57/2026

Teilbericht 2.3

Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme

Leichtverpackungen und Wertstofftonne

von:

Dr. Bertram Zwisele, Leonie Wachtler
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 2.3

Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme

Leichtverpackungen und Wertstofftonne

von

Dr. Bertram Zwisele, Leonie Wachtler
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-8150>

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 die Leichtverpackungen (LVP), 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. Nach der Probenahme folgt eine detaillierte Sortierung in verschiedene Stoffgruppen. Dabei werden auch spezielle Anforderungen an die technische Durchführung und die Qualitätssicherung berücksichtigt. Die Stichprobenergebnisse werden in Kampagnen auf Ebene der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger erfasst, analysiert und statistisch hochgerechnet. Ziel ist es, genaue und belastbare Daten zur Menge und stofflichen 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: Objective of the methodological concept for regular, bundled waste analyses

The objective of the methodological concept for regular, bundled waste analyses to monitor selected waste streams is to capture the fate of waste quantities that follow non-designated disposal paths—specifically for lightweight packaging - through precise measurements, thereby contributing to the increased efficiency of material flow investigations. There is growing interest in the traceability of these streams 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, stratified sampling method is used to obtain representative data that reflect regional, seasonal, and settlement-structure-related differences in waste composition. Following sampling, a detailed sorting process into different material groups is carried out. This also includes special requirements regarding technical implementation and quality assurance. The sampling results are recorded, analyzed, and statistically extrapolated in campaigns at the level of public disposal providers. The aim is to generate accurate and reliable data on the quantity and material composition of waste arising from various disposal paths. These data form the 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 Leichtverpackungen (LVP) beziehungsweise das Sammelgemisch Wertstofftonne (WST)	11
2 Untersuchungsgegenstand.....	13
Teil A: Methodenbeschreibung der LVP-Analyse für das Entsorgungsgebiet der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger	15
3 Untersuchungsplanung (örE-Ebene)	16
3.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten)	16
3.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten.....	17
3.2.1 Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse).....	17
3.2.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf örE-Ebene)	17
3.2.3 Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben).....	19
3.2.3.1 Definition der Stichprobeneinheiten.....	19
3.2.3.2 Notwendiger Stichprobenumfang	19
3.2.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten	20
4 Durchführung	23
4.1 Stichprobenahme.....	23
4.2 Siebung und Sortierung.....	24
4.3 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung.....	25
5 Auswertung und Hochrechnung (örE-Ebene)	30
5.1 Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung.....	30
5.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten	30
5.2.1 Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf örE-Ebene (Schicht- und Gesamtmassen)	30
5.2.1.1 Standardisierung der Einwohnerwerte je Stichprobeneinheit.....	30
5.2.1.2 Datenprüfung der Stichprobenergebnisse	31
5.2.1.3 Hochrechnung auf Schichten (örE-Ebene).....	32
5.2.1.4 Hochrechnung auf Gesamt (örE-Ebene)	33
6 Dokumentation und Ergebnisbericht (örE-Ebene)	35
7 Qualitätssicherung (örE-Ebene)	37
Teil B: Methodenbeschreibung zur Zusammenführung und Hochrechnung der Abfallanalysen für Gesamt Deutschland	39

8	Untersuchungsplanung (Bundesebene).....	40
8.1	Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten)	40
8.2	Untersuchungsspezifische Planungsdaten.....	40
8.2.1	Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse).....	40
8.2.2	Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf Bundesebene)	40
8.2.3	Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben).....	41
8.2.3.1	Definition der Stichprobeneinheiten.....	41
8.2.3.2	Notwendiger Stichprobenumfang	41
8.2.3.3	Auswahl der Stichprobeneinheiten	42
9	Auswertung und Hochrechnung (Bundesebene)	44
9.1	Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung.....	44
9.2	Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten	44
9.2.1	Hochrechnung auf Deutschland (DE) Schichten (Methode A).....	44
9.2.1.1	Hochrechnung auf Schichtebene DE (Methode A).....	44
9.2.1.2	Hochrechnung auf DE-Gesamt (Methode A).....	45
9.2.2	Hochrechnung auf DE Schichten (Methode B)	46
9.2.2.1	Hochrechnung auf Schichtebene DE (Methode B)	46
9.2.2.2	Hochrechnung auf DE-Gesamt (Methode B)	46
10	Dokumentation und Ergebnisbericht (Bundesebene).....	48
11	Qualitätssicherung (Bundesebene)	50
12	Quellenverzeichnis	51
A	Anlagen.....	52
A.1	Technische Voraussetzungen.....	52
A.2	Personelle Voraussetzungen.....	52
A.3	Arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abgrenzung von Siedlungsabfällen nach Herkunft	14
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl- LVP (nur für Teil A; Methode A).....	22
Abbildung 3:	Darstellung der Durchführung einer LVP-Analyse für die drei beschriebenen Methoden	23
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl – LVP	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Matrix Schichtungskriterien auf örE-Ebene.....	18
Tabelle 2:	Stoffgruppenkatalog für eine LVP-Standardanalyse	26
Tabelle 3:	Darstellung der Ergebnisse der örE nach Stoffgruppen und Schichten	35
Tabelle 4:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf örE Ebene nach Stoffgruppen.....	35
Tabelle 5:	Matrix Schichtungskriterien auf Bundesebene	41
Tabelle 6:	Darstellung der Ergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen und Schichten	48
Tabelle 7:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf Bundesebene	49

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
a	Jahr
Al	Aluminium
ALS	alt-ländliche Struktur
BioStoffV	Biostoffverordnung
DE	Deutschland
EAG	Elektro(nik)altgeräte
Ew	Einwohner
EU	Europäische Union
EZH	Ein- und Zweifamilienhäuser
Fe-Metall	Eisenmetall
GF	Gewichtungsfaktor
ggf.	gegebenenfalls
GMH	geschlossene Mehrfamilienhausbebauung
GWA	Großwohnanlage
kg	Kilogramm
km ²	Quadratkilometer
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft
LfU RIP	Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz
LMA	Lebensmittelabfälle
LV-Batterien	Leichte Verkehrsmittel Batterien
LVP	Leichtverpackungen
m ³	Kubikmeter
Mg	Megagramm
MGB	Müllgroßbehälter
mm	Millimeter
MMS	städtische Struktur mit Mehrfamilienhausbebauung
NE-Metall	nicht-eisenhaltige Metalle
NLS	neu-ländliche Struktur
örE	öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
OMH	offene Mehrfamilienhausbebauung
PPK	Papier, Pappe, Karton

Abkürzung	Erläuterung
t	Tonnen
UBA	Umweltbundesamt
Wo	Woche
WST	Sammelgemisch Wertstofftonne; beinhaltet zusätzlich zu den LVP noch stoffgleiche Nichtverpackungen in dieser Arbeit beinhaltet der Begriff LVP auch die WST
%	Prozent

1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für Leichtverpackungen (LVP) beziehungsweise das Sammelgemisch Wertstofftonne (WST)

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/EC¹).

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 Entsorgungspfad LVP als nicht-bestimmungsgemäßer Entsorgungspfad für Altbatterien, Lebensmittelabfälle, Elektro(nik)altgeräte (EAG) und bestimmungsgemäßer Entsorgungspfad für Kunststoffverpackungsabfälle und Verpackungsabfälle beschrieben. Für LVP 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 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 LVP 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 Stoffströme darüber hinaus benötigten nicht-bestimmungsgemäßen Entsorgungspfaden kompatibel sein. Die Untersuchungsergebnisse der LVP-Analysen sollen für alle relevanten Stoffströme so konzipiert werden, dass die Ergebnisse für alle Stoffströme genutzt werden

¹ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CONSIL%3AST_6972_2025_INIT (abgerufen am 07.11.2025).

können (das heißt gebündelt) und damit Synergien genutzt und die Bearbeitung möglichst effizient gestaltet werden kann.

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 LVP und WST 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.

Die Abfälle im LVP-Entsorgungspfad bestehen bestimmungsgemäß aus Kunststoff-, Metall- und Verbundverpackungen (sowie aller nicht anderweitig von den dualen Systemen getrennt erfassten Verpackungen), in der WST sind auch stoffgleiche Nichtverpackungen bestimmungsgemäß. Nachfolgend werden unter dem Begriff LVP beide Sammelsysteme zusammengefasst. Die Sammlung der Leichtverpackungen kann entweder durch private Entsorgungsunternehmen oder durch kommunale Dienste erfolgen, welche im Rahmen der dualen Systeme beauftragt werden. Alternativ besteht für die Erzeuger auch die Möglichkeit, die Materialien direkt zu einer Verwertungsanlage zu bringen. Die Sammlung wird überwiegend durch ein Holsystem oder seltener im Bringsystem durchgeführt. Das Holsystem beinhaltet eine haushaltsnahe Sammlung entweder in Sammelbehältern, bis zu einer Größe von 1,1 Kubikmeter (m³), oder gelben Säcken. Das Bringsystem beschreibt eine Sammlung, bei welcher die Verpackungen an einen Ort, entweder eine Sammeltonne (Depotcontainer) oder einer Sammelstelle (Wertstoff- und Recyclinghöfe), gebracht werden. In wenigen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) erfolgt die Erfassung von LVP derzeit noch überwiegend im Bringsystem, wobei hier ein Rückgang in der Nutzung und damit der Bedeutung dieses Erfassungssystems festgestellt werden kann. Durch den Rückgang der Nutzung des Bringsystems wird in dieser Methodenbeschreibung das Holsystem als Standard behandelt.

Durch die Aufteilung der Entsorgungsaufgaben des Untersuchungsgebietes an verschiedene Entsorgungsunternehmen wird die Planung und Durchführung einer LVP-Untersuchung in der Praxis ohne die Zustimmung und Kooperation der zuständigen Entsorgungsunternehmen möglicherweise nicht umsetzbar sein. Daher werden in dieser Methodenbeschreibung drei alternative Herangehensweisen bezüglich der Zugriffsebenen (Messpunkte) vorgeschlagen:

- A) Zugriffsebene ist der Behälter am Grundstück
- B) Zugriffsebene ist die Fahrzeugladung bzw. der Anlageninput
- C) Zugriffsebene ist der Anlagenoutput an einer LVP-Sortieranlage

Unter Geschäftsmüll werden hausmüllähnliche gewerbliche Siedlungsabfälle verstanden, welche im Rahmen, der von den beauftragten Unternehmen überwiegend im Umleerverfahren gemeinsam mit LVP aus privaten Haushalten erfasst werden.

Die Gesamtmenge der LVP wird den jährlichen Abfallbilanzen der örE entnommen. Die Gesamtmenge der LVP aus privaten Haushalten wird in Methode A über die angeschlossenen Haushalte bzw. Einwohner hochgerechnet. Um die korrekte Hochrechnung der Menge an LVP aus privaten Haushalten zu gewährleisten, muss bei der Durchführung der Sortieranalyse darauf geachtet werden, dass gewerbliche Abfälle nicht miterfasst werden.

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der Menge an LVP aus privaten Haushalten erfolgt durch Sortieranalysen der zufällig ausgewählten Stichprobeneinheiten. Für die stoffliche Zusammensetzung der LVP-Geschäftsmüllmenge wird wegen der Ähnlichkeit zu LVP aus privaten Haushalten die gleiche stoffliche Zusammensetzung für LVP aus privater und gewerblicher Herkunft angenommen.

Die Abbildung 1 zeigt die Abgrenzung von LVP aus privater Herkunft, von LVP-Geschäftsmüll aus gewerblicher Herkunft, welcher gemeinsam mit LVP aus privater Herkunft gesammelt wird und von Gewerbeabfall aus gewerblicher Herkunft, welcher über eine von LVP aus Privathaushalten- und LVP-Geschäftsmüll getrennte Sammlung erfasst wird. Durch die Art der LVP-Sammlung wird nicht strikt nach privater und gewerblicher Herkunft unterschieden. Der Untersuchungsgegenstand beinhaltet somit LVP aus privater und geschäftlicher Herkunft. Der über Wechselbehälter in separaten Sammlungen durch die dualen Systeme beauftragten Unternehmen erfasste gemischte Gewerbeabfall ist nicht in der LVP-Menge enthalten. Dieser Anteil im gemischten Gewerbeabfall ist nicht Teil dieser Methodenvorschrift für LVP.

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 LVP-Analyse für das Entsorgungsgebiet der
öffentlich-rechtlichen 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 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.

Für die Untersuchung der stofflichen Zusammensetzung des Entsorgungspfades LVP wurden verschiedene methodische Ansätze entwickelt. Dies ist aufgrund der rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen der LVP-Sammlung notwendig. Damit soll die Realisierbarkeit sichergestellt werden. Die Unterschiede sind in der Realisierung der Zugriffsebenen (Messpunkte) begründet und führen zu unterschiedlichen Methodenbeschreibungen in der Stichprobenplanung, der Stichprobenerhebung und der Auswertung und Hochrechnung auf örE-Ebene.

Methode A: Probenahme der Stichprobeneinheiten an privaten Haushalten und Kleingewerbe aus den zur Leerung bereitgestellten Abfallbehältern (Zugriffsebene Abfallbehälter am Grundstück)

Methode B: Probenahme der Stichprobeneinheiten aus dem Sammelfahrzeug (Zugriffsebene Fahrzeugladung des LVP-Sammelfahrzeugs)

Methode C: Probenahme der Stichprobeneinheiten aus dem Sortieroutput der LVP-Sortieranlage (Zugriffsebene Output-Stoffgruppen der LVP-Sortieranlage, sortenreine Stoffgruppen werden verwogen, gemischte Stoffgruppen werden manuell sortiert und verwogen)

Die unterschiedlichen methodischen Vorgehensweisen werden für die Stichprobenplanung, die Stichprobenerhebung und die Auswertung und Hochrechnung jeweils für Methode A, B und C beschrieben.

3.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten)

Die erforderlichen Daten und Unterlagen für die Untersuchungsplanung, soweit verfügbar und von aktuellen Datenschutzbestimmungen erlaubt, sind mit Unterstützung der zuständigen Entsorger für dieses Gebiet zusammen zu stellen. Vor allem für die standardmäßige Zugriffsebene am Grundstück wird eine große Anzahl an Daten benötigt, alternativ kann die Zugriffsebene an der Sortieranlage gewählt werden, mit dem nachteiligen Effekt der Verzerrung der statistischen Kennzahlen. 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 (Grobkizzierung der abfallwirtschaftlichen Erfassungssysteme)
- ▶ Zugriffsebene am Grundstück: Behälterverzeichnis aller Grundstücke der Untersuchungs-Teilgebiete zur Behälterauswahl (Stichprobenadressen) inklusive Anzahl, Größe und Art der aufgestellten Behälter, Abfuhrtage, Sammeltturnus
- ▶ Zugriffsebene bei Sortieranlage: Sortiererergebnisse der Anlage in dem Zeitrahmen der Stichprobe
- ▶ Informationen zu weiteren abfallwirtschaftlichen Erfassungssystemen (Glas, Restabfall, 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)
- ▶ Gegebenenfalls (ggf.) für Methode B und C erweitern

3.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten

Zu den untersuchungsspezifischen Planungsdaten gehören 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 LVP-Analyse muss eine Sortierkampagne durchgeführt werden, da nicht mit einer Veränderung des Abfallmengenauftommens innerhalb eines Jahres gerechnet wird. Wochen, in denen das Entsorgungsverhalten von Feiertagen oder Ferienzeiten beeinflusst wird, sollten bei der Auswahl ausgeschlossen werden. Dabei sind die Behälterstandzeiten zu beachten. Gleiches gilt für planbare Einzelveranstaltungen wie Stadt- und Gemeindefeste. In touristischen Gebieten sind Abweichungen der Einwohnerzahlen durch Feriengäste in der Auswertung zu berücksichtigen, siehe Kapitel 5. Die Kampagne beginnt mit der Probenahmetätigkeit vor Ort und endet mit dem Abschluss der Analysetätigkeit.

3.2.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf örE-Ebene)

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

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.

Für Methode B und C entfällt die Schichtung auf örE-Ebene.

Tabelle 1: Matrix Schichtungskriterien auf örE-Ebene

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

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

Alt-ländliche Struktur: Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Grundstücke unterschiedlicher Größe in gewachsener Struktur, Einzelbehälterstandplätze mit überwiegend kleinen 2-Rad-Behältern

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 mit überwiegend kleinen 2-Rad-Behältern (vergleichbar mit Ein- und Zweifamilienhausbebauung in städtischen Entsorgungsgebieten)

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

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

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

Ein- und Zweifamilienhäuser: Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Einzelbehälterstandplätze mit überwiegend kleinen 2-Rad-Behältern

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

Methode A

Eine Stichprobeneinheit umfasst ein Abfallvolumen von ca. $1,1 \text{ m}^3$ und entspricht damit dem Standardvolumen eines $1,1 \text{ m}^3$ Rollcontainers. Eine Stichprobeneinheit kann sich aus $1 \times 1,1 \text{ m}^3$ Müllgroßbehälter (MGB), oder näherungsweise pragmatisch durch 4×240 Liter MGB, 8×120 Liter MGB, oder 12×90 Liter gelben Säcken bzw. entsprechenden Kombinationen zusammensetzen.

Methode B

Eine Stichprobeneinheit ist eine repräsentative Teilprobe aus einer Fahrzeugladung mit einem Abfallvolumen von ca. $1,1 \text{ m}^3$ und entspricht damit dem Standardvolumen eines $1,1 \text{ m}^3$ Rollcontainers.

Methode C

Eine Stichprobeneinheit umfasst ein Abfallvolumen von ca. $1,1 \text{ m}^3$ und entspricht damit dem Standardvolumen eines $1,1 \text{ m}^3$ Rollcontainers. Die Stichprobe für die manuelle Sortierung wird nach Möglichkeit vom Band am Abwurfpunkt in den Container für den Output aus der Anlage entnommen.

3.2.3.2 Notwendiger Stichprobenumfang

Methode A

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 ± 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. ± 24 %. Für das Gesamtergebnis auf öRE-Ebene werden dann ± 10 % Genauigkeit angestrebt. Für die Ergebnisse auf Bundesebene werden Genauigkeiten von ± 3 bis 5 % für die hochgerechnete Abfallmenge erreicht. Aus vergangenen WST Analysen kann für die Zusammensetzung der WST aus privaten Haushalten ein natürlicher Variationskoeffizient zwischen den Stichprobeneinheiten von 39 % bis 45 % angenommen werden. Bei der zusätzlichen Betrachtung von Gewerbebetrieben erhöht sich der Variationskoeffizient zwischen den Stichproben auf 43 % bis 48 %.

Für eine Sortieranalyse auf öRE-Ebene müssen somit insgesamt mindestens 48 Stichprobeneinheiten untersucht werden. Um die Mindestanforderungen von drei Schichten (anhand der Besiedlungsdichte) und 6 Stichprobeneinheiten je Schicht zu erfüllen, können zum Beispiel vier Schichten und 12 Stichprobeneinheiten oder drei Schichten und 16 Stichprobeneinheiten 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).

Methode B

Für eine Analyse mit Zugriffsebene Fahrzeugladung (Methode B) wird für die Anzahl der Stichproben in einem örE die vierfache Anzahl an Stichprobeneinheiten (je vier Einzelstichproben je Fahrzeugladung) benötigt. Dies ergibt sich durch die größere Heterogenität der Entnahme von Teilproben aus den Fahrzeugladungen. In Methode B sind 192 Stichprobeneinheiten zu entnehmen. Die Unterteilung der Schichtungen laut Bebauungsstruktur entfällt in dieser Zugriffsebene vollständig.

Methode C

Für eine Analyse mit Zugriffsebene an der Sortieranlage (Methode C) müssen über einen Kampagnenzeitrahmen von drei Tagen über einen Zeitraum von drei Stunden Stichprobeneinheiten für die Analysen der gemischten Stoffgruppen der Outputströme entnommen werden. Hierbei sollte für jede örE eine Mindeststichprobenanzahl von 96 untersucht werden. Die Unterteilung der Schichtungen laut Bebauungsstruktur entfällt in dieser Zugriffsebene vollständig.

3.2.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten

Methode A

Aus den Rahmendaten des Untersuchungsgebietes in Kapitel 3.1 ist eine Auswahl an Behältern für die Stichprobenahme zu erstellen. In der kommunalen LVP-Sammlung sind schätzungsweise 5 bis 25 % des Abfalls aus kleinen Gewerbebetrieben enthalten, welcher gemeinsam mit Behältern aus privaten Haushalten gesammelt wird. Für die Bestimmung der LVP-Menge 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 LVP aus privater und gewerblicher Herkunft enthalten angenommen, dass die LVP aus privater Herkunft in diesen Behältern die gleiche Zusammensetzung und pro-Kopf-Menge aufweist, wie LVP 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)
- ▶ 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. 1,1 m³ aus den zufällig ausgewählten Untersuchungs-Teilgebieten (Ebene 2; Auswahlstufe 3)

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

Für die späteren Berechnungen muss die Anzahl der an die Behälter oder Säcke 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.

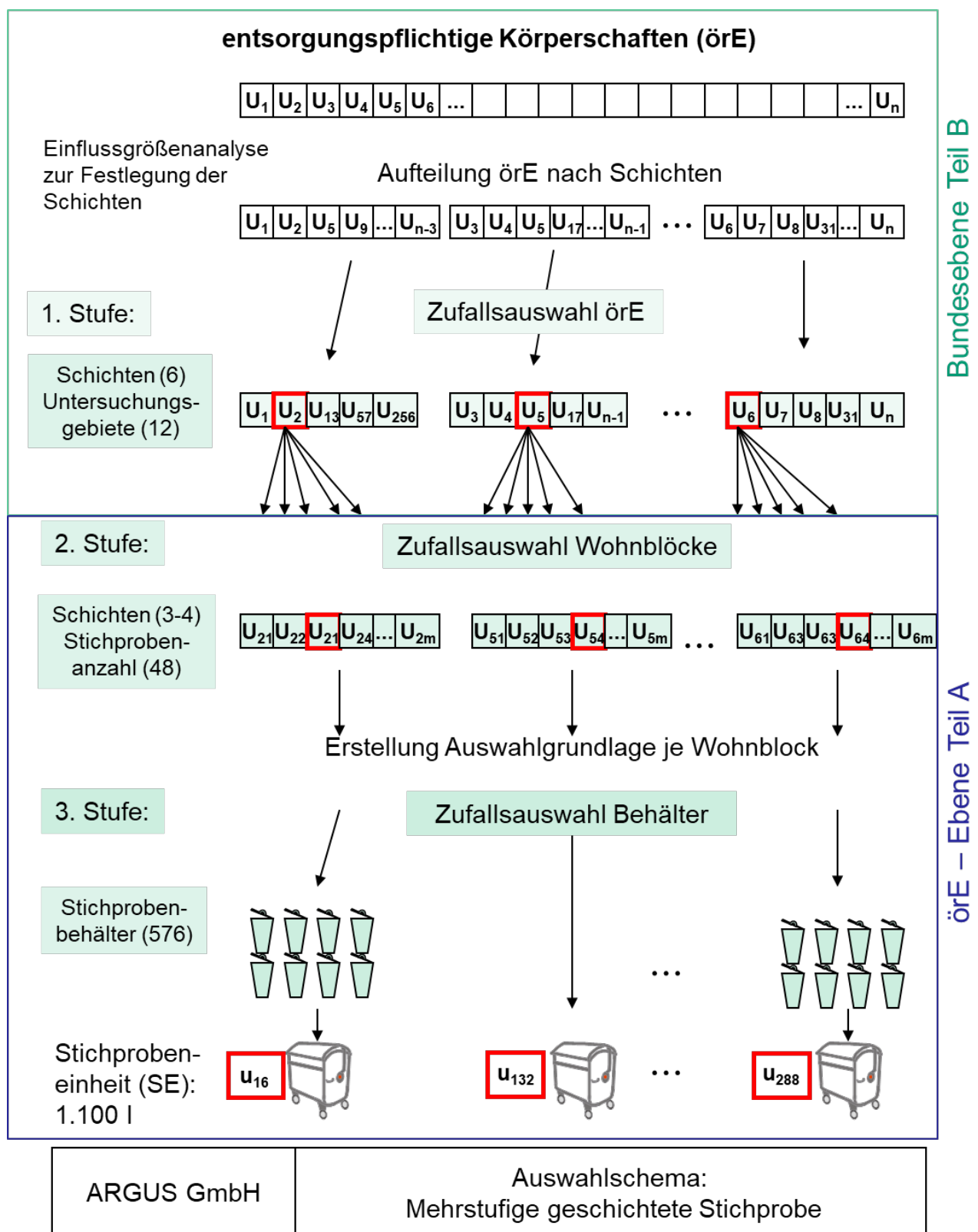
Methode B

Die Stichprobeneinheiten werden repräsentativ als Teilprobe aus den Sammelfahrzeugen entnommen.

Methode C

Die Stichprobeneinheiten werden repräsentativ als Teilprobe am Output der LVP-Sortieranlage in Abstimmung mit dem jeweiligen Anlagenbetreiber entnommen.

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl- LVP (nur für Teil A; Methode A)



Quelle: Eigene Darstellung, ARGUS

4 Durchführung

Zur Durchführung gehören die Stichprobenahme und die Sortierung der LVP. Die technischen und arbeitsschutzbezogenen Voraussetzungen für die praktische Durchführung einer LVP-Analyse sind in den Anlagen A.1 bis A.3 enthalten. Die Schritte der Durchführung einer LVP-Analyse werden in Abbildung 3 für die drei Methoden dargestellt.

Abbildung 3: Darstellung der Durchführung einer LVP-Analyse für die drei beschriebenen Methoden

	Method A	Method B	Method C
Zugriffsebene	Behälter am Grundstück	Sammelfahrzeug	Sortieranlage
Stichprobentnahme	Behälter am Grundstück werden getauscht, oder der Inhalt umgeleert	Teilprobeentnahme aus Haufwerk, welches den Inhalt des Sammelfahrzeuges darstellt	Teilprobenahme vom Band oder von geeigneten Probenahmestellen in der Anlage
Siebung und Sortierung	<ul style="list-style-type: none">• Masse Stichprobeneinheit vor Siebung• Fraktion ≤ 10 mm: Masse nach Siebung• Fraktion > 10 bis 40 mm: Gesamtmasse nach Siebung Einzelmassen der entnommenen Teilmenge nach Sortierung Einzelmassen der Stoffgruppen nach Siebung• Fraktion > 40 mm: Einzelmasse der Stoffgruppe nach händischer Sortierung		

Quelle: Eigene Darstellung, ARGUS

4.1 Stichprobenahme

Method A

Die Stichprobenahme ist am Tag der regulären LVP-Abfuhr 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
- ▶ Behältertyp
- ▶ Volumen der Behälter
- ▶ Abfallmasse je beprobtem Behälter (Kilogramm (kg)/Behälter) (ggf. bei der Sortierung)

- ▶ der Füllgrad des Stichprobenbehälters bzw. die Anzahl der Säcke sowie die Füllgrade aller weiteren bereitgestellten Behälter 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.

Entleerungshäufigkeiten von mehrmals pro Woche sollten auch in der Stichprobenahme berücksichtigt werden. Vorhandene zusätzliche Abfallmengen sind zu erfassen und zu dokumentieren. Behälter mit erkennbar gewerblichen Abfällen sollten von der Probenahme ausgeschlossen werden.

Die Probenahme am Grundstück umfasst grundsätzlich den gesamten Inhalt der Abfallbehälter einschließlich eventuell vorhandener zusätzlicher Ablagerungen. Die Entnahme erfolgt direkt am Grundstück durch Behältertausch oder Umleeren des Inhalts.

Es wird empfohlen, die Stichproben zu gewinnen, indem der Inhalt der bereitgestellten Abfallbehälter oder Abfallsäcke in transportable 1.100 Liter -Behälter oder Big Bags mit einem Volumen von 1 m³ umgefüllt wird.

Alternativ kann ein separates Sammelfahrzeug für die Probenahme verwendet werden, das nicht im regulären Abfuhrbetrieb eingesetzt ist. Dabei muss sichergestellt werden, dass die geplante Stichprobenmenge genau eingehalten wird. Des Weiteren muss der Abfall im Fahrzeug unverändert bleiben (keine Verdichtung oder Rotation).

Methode B

Die Stichprobenentnahme erfolgt als Teilprobe aus dem LVP-Sammelfahrzeug. Dazu wird die Fahrzeugladung mit einem Radlader ausgebreitet und in Quadrate mit ca. 1 m³ Volumen und einer maximalen Höhe von 40 Zentimeter aufgeteilt. Es ist auf eine gleichmäßige Verteilung der Stoffbestandteile im Haufwerk der Abfallladung zu achten und Einmischungen zu vermeiden.

Methode C

Bei der Zugriffsebene der Sortieranlage muss zunächst eine eindeutige Definition der verschiedenen Outputs der Sortieranlage erfolgen, da je nach Anlage unterschiedliche Sortierfraktionen entstehen können. In diesem Dokument wird ein zeitbasiertes Intervall definiert, welches den Output der Sortieranlage nur in einem festgelegten Zeitraum berücksichtigt.

Um sicherzustellen, dass keine Reste aus vorherigen Durchläufen in die Analyse einfließen, müssen vor Beginn des Tests sämtliche Outputbehälter vollständig geleert werden. Dies verhindert eine Vermischung der neuen Sortierfraktionen mit möglichen Rückständen aus dem vorherigen Betrieb.

Nach der Vorbereitung wird die Anlage für den definierten Zeitraum in Betrieb genommen. Anschließend werden die jeweiligen Fraktionen, welche in den Outputbehältern gesammelt wurden, einzeln verwogen. Eine händische Nachsortierung der gemischten Fraktionen folgt, um das Gemisch den einzelnen Stoffgruppen gemäß Stoffgruppenkatalog zuordnen zu können.

4.2 Siebung und Sortierung

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der LVP erfolgt durch händische Sortierung nach Stoffgruppen für jede Schicht. Die Siebung erfolgt durch Flach- oder Trommelsiebe. Die

Siebung und Sortierung der LVP muss von geschultem Personal unter Aufsicht eines erfahrenen Sortierleiters durchgeführt werden. Die LVP können vor der Sortierung bei 10 Millimeter (mm) und 40 mm gesiebt werden, wenn es die Aufgabenstellung verlangt oder ein minimierter Aufwand durch eine einfachere Zuordnung kleiner Bestandteile erzielt werden kann. Jegliche Siebschnitte müssen dokumentiert werden. Für die Siebung können maschinelle Siebaggregate oder Sortiertische mit Rundlochung eingesetzt werden. Bei der Verwendung von Trommelsieben ist darauf zu achten, dass der Abfall keiner Zerkleinerung oder Trocknung unterzogen wird.

Folgende Massen sind anhand einer Wiegung für eine Stichprobeneinheit (ca. 1,1 m³) für die folgende Auswertung zu ermitteln und zu dokumentieren:

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

Die Ergebnisse der Fraktion > 10 bis 40 mm müssen zunächst auf die Gesamtmasse der Fraktion nach der Siebung hochgerechnet werden, da nur eine Teilmenge manuell sortiert wurde. 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:

- ▶ Behälter ≤ 240 Liter: 100 Gramm (Einzelmessung)
- ▶ Behälter > 240 Liter: 1 kg

Soweit diese Anforderungen aufgrund der konkreten Bedingungen bei der Datenaufnahme nicht eingehalten werden können, sind die Abweichungen von den festgelegten Genauigkeitsgrenzen zu dokumentieren.

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. Zukünftig wird es aufgrund von der 2019 veröffentlichten EU-Verordnung über die Verringerung der Auswirkung verschiedener Kunststoffartikel erforderlich werden, die Ziele der getrennten Sammlung anhand einer zusätzlichen Stoffgruppe in der zweiten Differenzierungsebene zu überprüfen. Hintergrund ist, dass die in 2025 in Kraft getretene neue

EU-Verpackungsverordnung bis zum Jahr 2029 ein Pfand- und Rücknahmesysteme für Einweggetränkeflaschen aus Kunststoff und Einweggetränkebehältern aus Metall mit einem Fassungsvermögen von bis zu drei Liter vorschreibt (Verordnung (EU) 2025/40). Um die formulierten Getrenntsammlziele von 90 Gewicht-% zu überprüfen (Verordnung (EU) 2025/40), würde eine neue Sortierstoffgruppe der Getränkeflaschen mit einem Fassungsvermögen von bis zu drei Liter erforderlich (analog für Einweggetränkebehälter aus Metall).

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 für eine LVP-Standardanalyse

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
1	Eisenmetalle (Fe-Metalle)	Fe-Metall-Verpackungen, sonstige Fe-Metall-Gegenstände
1-1	Fe-Verpackungen	Getränke-, Konserven- und Aerosoldosen, Deckel
1-2	Sonstige Fe-Metalle	Töpfe, Werkzeug, Beschläge, Nägel, Bauteile aus magnetischen Metallen
2	Nicht-eisenhaltige Metalle (NE-Metalle)	NE-Metall-Verpackungen, sonstige NE-Metall-Gegenstände
2-1	NE-Verpackungen	Aluminium (Al)-Verpackungen, sonstige NE-Verpackungen
2-1-1	Al-Verpackungen	Getränke-, Konserven- und Aerosoldosen, Deckel aus Aluminium
2-1-2	Sonstige NE-Verpackungen	Getränke-, Konserven- und Aerosoldosen, Deckel aus anderen NE-Metallen
2-2	Sonstige NE-Metalle	Töpfe, Werkzeug, Schmuck, Beschläge aus nicht magnetischen Metallen
3	Papier, Pappe, Karton (PPK)	Papierverpackungen, Druckerzeugnisse, sonstiges PPK
3-1	PPK-Verpackungen (ohne Verbunde)	Graukarton (Verpackungskartons, Toilettenpapierrollen, Papp-Joghurtbecher-Ummantelung), Mehl-/Zuckertüten, Braunkarton/Kartonagen
3-2	PPK-Druckerzeugnisse	Zeitungen, Illustrierte, Briefumschläge, Schreibpapier, Bücher, Papierschnitzel, Bons (kein Thermopapier)
3-3	Sonstige PPK	Papiermöbel, Stehsammler, Pappordner, Geschenkpapier
4	Kunststoffe	Kunststoffverpackungen, sonstige Kunststoffe
4-1	Kunststoffverpackungen	Becher, Blister, Flaschen, Schalen, Verpackungstüten, Folien

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
4-1-1	Verpackung aus Kunststoff - starr	Becher, Blister, Flaschen, Schalen
4-1-2	Verpackung aus Kunststoff - flexibel	Tüten, Folien
4-2	Sonstige Kunststoffe	Sonstige Kunststoffe - starr und flexibel
5	Glas	Glasverpackungen, sonstiges Glas
5-1	Glasverpackungen (einschließlich Verbund)	Flaschen, Konservengläser
5-2	Sonstige Glas	Gebrauchsgegenstände aus Glas, Trinkgläser, Flachglas
6	Bioabfälle	Küchen- und Nahrungsabfälle
6-1	Lebensmittelabfälle (LMA)	LMA verpackt/unverpackt
6-1-1	LMA (unverpackt oder 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 Getränkebehälter, volle Konservendosen
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
7-1	Holzverpackungen	Camenbertschachtel, Erdbeerkorbchen, Zigarrenkiste
7-2	Sonstiges Holz	Holzmöbel, Bretter, Spanplatten, lackierte Möbel, furniertes Holz
8	Verbunde	Verbundverpackungen, sonstige Verbunde
8-1	Verbundverpackungen	Fe-, NE-, PPK-Verbunde, Flüssigkeitskartons
8-1-1	Verbundverpackungen mit Kunststoff als Nebenmaterial (Ausnahme: Flüssigkeitskartonagen (separate Stoffgruppe))	Fe-Metall Verbundverpackungen, NE-Metall Verbundverpackungen, PPK-Verbundpackungen

Differenzierungs-ebene*	Stoffgruppe	Beispiele
8-1-1-1	Fe-Metall Verbundverpackungen, mit Fe als Hauptmaterial	Eisen-Verbundverpackungen
8-1-1-2	NE-Metall Verbundverpackungen, mit Al als Hauptmaterial	Butterpapier
8-1-1-3	PPK-Verbundverpackungen mit PPK als Hauptmaterial	Zigaretenschachteln, Getränkebecher, beschichtete Papiere, Bäckertüten
8-1-1-4	Flüssigkeitskartonagen	Flüssigkeitskartonagen für z. B. Milch und Saft und pastösen Lebensmitteln (z. B. Tomaten)
8-1-2	Verbundverpackungen auf Kunststoffbasis mit anderen Materialien als Nebenmaterial	Folienbeutel mit Standboden (z. B. Getränkeverpackungen), Seitenfalten (z. B. Nussverpackungen) oder vierseitig versiegelte Beutel (z. B. Tierfutter), jeweils mit Al-Schicht
8-2	EAG	Haushaltskleingeräte, Informations- und Telekommunikationstechnik, Unterhaltungselektronik, elektr. Werkzeuge, Spielzeug, Sport- und Freizeitgeräte, Medizinprodukte, Überwachungs- / Kontrollinstrumente, Haushaltsgroßgeräte, automatische Ausgabegeräte, Kühlgeräte, ölfüllte Radiatoren, Bildschirme, Monitore und TV-Geräte, Haushaltsgroßgeräte
8-3	Sonstige Verbunde	Gebrauchsgegenstände, Spielzeug, Dekoration
9	Mineralik, Inertstoffe	Keramik, Steine, Bauschutt, Geschirr, sonstige Mineralstoffe
10	Schadstoffe (Problemabfälle)	Batterien, Altmedikamente, Altchemikalien, Altöhlaltige Materialien, sonstige schadstoffbelastete Materialien, belastete Bauabfälle
10-1	Altbatterien	Batterien, Akkus
10-1-1	Gerätebatterien	Gerätebatterien
10-1-2	Leichte Verkehrsmittel Batterien (LV-Batterien)	LV-Batterien
10-1-3	Weitere Batterien	Weitere Batterien
10-2	Sonstige Schadstoffe	Altmedikamente, Altchemikalien, altöhlaltige Materialien, sonstige schadstoffbelastete Materialien, belastete Bauabfälle (z. B. Asbest), sonstiger schwermetallhaltiger Abfall, Lacke und Farben, Quecksilberhaltige Leuchtmittel, organische Lösungsmittel und Kühlmittel
11	Sonstige Abfälle	Alttextilien, nicht restentleerte Verpackungen (außer Lebensmittel), Stoffe anderweitig nicht genannt
11-1	Alttextilien	Bekleidung, Schuhe, Heimtextilien

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
11-1-1	Bekleidung	Bekleidung (inklusive Accessoires wie Mützen, Handschuhe, Schal)
11-1-2	Schuhe	alle Schuhe, auch Plastiksandalen, Hausschuhe
11-1-3	sonstige Textilien (ohne Teppiche und Matratzen)	Handtücher, Tischdecken, Vorhänge, Beutel, Lappen
11-2	Hygieneprodukte	Kinderwindeln, Damenhygieneartikel, Inkontinenzmaterial
11-3	Hygienepapiere, nicht als PPK verwertbar	Taschentücher, Servietten, Küchenpapier, Papierhandtücher
11-4	Nicht restentleerte Verpackungen (außer Lebensmittel)	nicht restentleerte Verpackungen außer Lebensmittel (Kosmetik, Reinigungsmittel-Inhalt schwerer als Verpackung)
11-5	Sonstige Abfälle	gefüllte Staubsaugerbeutel, Wachs, Beutel mit Hundekot, Gummi, Leder, Tierkadaver, Teppiche, Matratzen, Fotos, Thermopapier, Backpapier, sonstige den anderen Stoffgruppen nicht zuordenbare Bestandteile
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:

- ▶ Fraktionen ≤ 10 mm im Beutel, wie z. B. Streu aus Kleintierhaltung, Kehricht, Inhalt von Kaffeefiltertüten etc. sind direkt der Fraktion ≤ 10 mm zuzuordnen
- ▶ Müllbeutel sind zu entleeren und der Inhalt den jeweiligen Stoffgruppen zuzuordnen
- ▶ trennbare Kombinationsverpackungen, welche sich aus verschiedenen relativ leicht lösbaren Bestandteilen zusammensetzen, wie z. B. Gebäck- und Pralinschachteln, Gläser bzw. Flaschen mit Schraubverschlüssen, Spraydosen mit Verschlusskappen, Joghurtbecher mit Aludeckel etc. sind, soweit möglich (unter Berücksichtigung von Verschmutzungen), nach der jeweiligen Stoffgruppe getrennt zuzuordnen, entsprechend kleinere Verbunde bzw. Kombinationsverpackungen sind der jeweilig überwiegenden Stoffgruppe zuzuweisen
- ▶ Bei untypischen EAG, sogenannten „open-scope-Geräten“ - wie bspw. Möbeln oder Bekleidung mit Beleuchtung sollte beachtet werden, dass diese als Ganzes unter das ElektroG fallen, nicht lediglich ihre elektronischen Komponenten
- ▶ „reine“ Stoffgruppen mit einem geringen Anteil (< 20 Masse-%) anderer Stoffgruppen, welche sich nur sehr schwer vom Hauptbestandteil lösen lassen (Bücher mit Kunststoff oder Ledereinband, Fahrradlenker mit Kunststoffgriff etc.) sind der dominierenden Stoffgruppe zuzuordnen
- ▶ Sofern weitere Festlegungen der Zuordnung für einzelne Abfallarten erforderlich sind, hat der Sortierleiter in Abhängigkeit der Zielsetzung der Sortieranalyse diese verbindlich festzulegen und zu dokumentieren

5 Auswertung und Hochrechnung (örE-Ebene)

Aufgrund der Komplexität des LVP-Abfalls 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, Studenten)
- ▶ Behältergrößen/-arten unter Beachtung der Anzahl der angeschlossenen Einwohner
- ▶ angebotene Wertstoffbehälter (Glas, Papier, Pappe, Kartonagen) oder Bioabfallbehälter
- ▶ angebotene Restabfallbehälter
- ▶ Entfernung des Entsorgungsgebietes zum Wertstoffhof

5.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten

Methode A

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.

5.2.1 Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf örE-Ebene (Schicht- 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 ≤ 240 Liter, 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 der Ladestelle r an denen der 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 r zur Entnahme von Teilstichprobeneinheit (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.

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

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

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 werden für die jeweilige Kampagne und das jeweilige Entsorgungsgebiet (der örE) auf Schichtebene mit Gleichung 4 hochgerechnet. Die Berechnung erfolgt in Gleichung 4 für Kampagnen und Schichten.

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

$\hat{X}_{k,h_{\text{örE}},l}$ *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 *Laufindex für Kampagnen*

j *Laufindex für Stichprobeneinheiten*

$h_{\text{örE}}$ *Laufindex für örE-Schichten*

l *Laufindex für Stoffgruppen*

n_j *Anzahl der Stichprobeneinheiten*

5.2.1.4 Hochrechnung auf Gesamt (örE-Ebene)

Methode A

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen 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 dem Gewichtungsfaktoren (GF_k) gemäß Gleichung 6 hochzurechnen. Der Gewichtungsfaktor wird für eine Kampagne mit $GF_1 = 1$ definiert, für mehrere Kampagnen muss der Gewichtungsfaktor dem Untersuchungsziel angepasst werden.

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

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

$\hat{X}_{k,l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne k und Stoffgruppe l
$\hat{X}_{k,h_{\text{örE}},l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne k , Schicht $h_{\text{örE}}$ und Stoffgruppe l
\hat{X}_l	Schätzwert für die Masse je Stoffgruppe l
k	Laufindex für Kampagnen
l	Laufindex für die Stoffgruppen
$h_{\text{örE}}$	Laufindex für örE-Schichten
$n_{h_{\text{örE}}}$	Anzahl der örE-Schichten
n_k	Anzahl der Kampagnen
GF_k	Gewichtungsfaktor für jahreszeitliche Einflussfaktoren je Kampagne
$\frac{365}{7}$	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 LVP in Masse-% abgeleitet werden.

Methode B

Die Hochrechnung der stofflichen Zusammensetzung wird aus der durchschnittlichen Zusammensetzung aller sortierten Fahrzeugstichproben vorgenommen. Eine Schichtung ist aufgrund des fehlenden Einwohnerbezugs nicht möglich.

Die LVP-Menge wird über die Wochen- bzw. Jahresmengen der örE bestimmt und die stoffliche Zusammensetzung der Stichprobenergebnisse wird auf den örE-Insgesamt hochgerechnet. Der hochgerechnete Gesamtwert je örE aus der Fahrzeugbeprobung berechnet sich nach Gleichung 7 und 8. Der Gewichtungsfaktor, definiert in Methode A, kann für diese Methode übernommen werden.

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{j=1}^{n_j} X_k \cdot \frac{\dot{x}_{k,j,l}}{\dot{x}_{k,j}} \quad \text{Gleichung 7}$$

$$\hat{X}_k = \sum_{k=1}^{n_k} GF_k \cdot \frac{365}{7} \cdot \hat{X}_{k,l} \quad \text{Gleichung 8}$$

$\hat{X}_{k,l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne k und Stoffgruppe l
\hat{X}_k	Schätzwert für die Masse je Kampagne k
X_k	verwogener Wochen- bzw. Jahreswert der öRE
$\dot{x}_{k,j,l}$	Stichprobenmasse je Kampagne k , Stichprobeneinheit j und Stoffgruppe l
$\dot{x}_{k,j}$	Stichprobenmasse je Kampagne k und Stichprobeneinheit j
j	Laufindex für Stichprobeneinheiten
l	Laufindex für Stoffgruppen
k	Laufindex für die Kampagnen
n_j	Anzahl der Stichprobeneinheiten
n_k	Anzahl der Kampagnen
GF_k	Gewichtungsfaktor für jahreszeitliche Einflussfaktoren je Kampagne (siehe Methode a)
$\frac{365}{7}$	Hochrechnungsfaktor von Wochenwerte auf Jahreswerte

Methode C

Die Hochrechnung der stofflichen Zusammensetzung wird aus der durchschnittlichen Zusammensetzung aller an der LVP-Anlage genommenen Output Fraktionen (sortenreine und gemischte Stoffgruppen) analysierten Stichproben vorgenommen. Eine Schichtung ist aufgrund des fehlenden Einwohnerbezugs nicht möglich.

Die Berechnungen sind analog zur Methode B mit Gleichung 7 und 8 durchzuführen.

6 Dokumentation und Ergebnisbericht (örE-Ebene)

In der Dokumentation sind die ausgewählten Untersuchungsgebiete kurz zu beschreiben, die LVP-Menge und die Anzahl der beprobten LVP-Behälter, jeweils für jede Kampagne, anzugeben.

Im Anhang des Ergebnisberichts sind die aus der Sortierung erhaltenen Ergebnisse prozentual (Masse-%), einwohnerspezifisch ($\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{Wo})$) und gesamt (kg/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. Tabelle 4 kann jeweils für beide Kampagnen und für die Mittelwtergebnisse beider Kampagnen verwendet werden.

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

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Schicht 1 ¹ (Einheit) ²	Schicht 2 ¹ (Einheit) ²	Schicht c ¹ (Einheit) ²	Gesamt (Einheit) ²
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 einer Kampagne Masse-%, $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{Wo})$ und kg/Wo eingesetzt werden, für Jahresgesamtergebnisse Masse-%, $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{a})$ und Mg/a .

Tabelle 4: Darstellung der Gesamtergebnisse auf örE Ebene nach Stoffgruppen

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Gesamt $\text{kg}/\text{Ew} \cdot \text{Wo}$	Gesamt Masse-%	Gesamt Mg/Wo
1	1. Differenzierungsebene			
1-1	2. Differenzierungsebene			

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

7 Qualitätssicherung (örE-Ebene)

Zunächst ist zu berücksichtigen, dass die LVP sowohl aus Privathaushalten als auch aus Gewerbebetrieben (sogenannter Geschäftsmüll) stammt. Der Anteil der LVPs aus Privathaushalten wird mithilfe eines statistischen Hochrechnungsverfahrens anhand der angeschlossenen Einwohnerzahl bestimmt. Die gesamte LVP-Menge wird über Wiegescheine an den Entsorgungsanlagen erfasst. Die Menge des Geschäftsmülls ergibt sich aus der Differenz zwischen der gesamten LVP-Menge und der hochgerechneten LVP-Menge aus privaten Haushalten. Methodisch bedingt gibt es daher eine Schwankung des Geschäftsmülls, welcher zwischen 10 und 25 % liegen kann und abhängig von der Wirtschaftsstruktur des öRE ist. Für die hochgerechnete LVP-Menge aus Privathaushalten variiert der Anteil des LVPs aus Privathaushalten dementsprechend zwischen 75 und 90 % bezogen auf das verwogene LVP-Gesamtgewicht.

Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wird daher überprüft, ob die hochgerechnete LVP-Menge aus Privathaushalten in dem erwarteten Bereich von 75 bis 90 % der Gesamtmenge des LVPs (Mittelwert der letzten 3 Jahre) liegt. 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) auf Basis der Stichprobenwerte. Das Einhalten des Unsicherheitsbereichs wird anhand eines Vergleichs des relativen Fehlers mit den gewünschten, zuvor festgelegten Genauigkeitsbereich bei einer festgelegten Sicherheit bestimmt. Als erster Schritt hierfür wird die Berechnung des geschätzten Mittelwertes $\hat{\bar{x}}$ der Einzelstichproben (\hat{x}_i) durchgeführt (siehe Gleichung 9).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n \hat{x}_i) \cong \hat{\bar{X}} \quad \text{Gleichung 9}$$

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

In Gleichung 10 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.

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad \text{Gleichung 10}$$

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

Gleichung 11 gibt die Formel wieder, um den Variationskoeffizient zu bestimmen, in Gleichung 12 wird der relative Fehler der Ergebnisse berechnet.

$$\text{varkoeff}(x_i) = \frac{\sqrt{\sigma_{\bar{x}}^2}}{\bar{x}} \quad \text{Gleichung 11}$$

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

$$\varepsilon_{x_i} = \text{varkoeff}(x_i) \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \quad \text{Gleichung 12}$$

ε_{x_i} Relativer Fehler

α 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 reduziert 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, ist durch den jeweiligen Entsorger zur Verfügung 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)
- ▶ Gebäudestrukturdaten für die Planung der Schichten
- ▶ Einwohnerstrukturdaten für die Planung der mehrstufigen Auswahl

8.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten

Zu den untersuchungsspezifischen Planungsdaten gehören 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)

Bei der Untersuchungsplanung erfolgte die Festlegung der Kampagnenanzahl bereits auf öRE-Ebene. Für LVP wurde auf öRE-Ebene eine Untersuchungskampagne festgelegt. Damit ergibt sich auch auf Bundesebene eine Untersuchungskampagne, welche entsprechend geplant und hochgerechnet werden muss.

8.2.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf Bundesebene)

Die Grundgesamtheit des Analysegebiets ist auf Bundesebene nach der Siedlungsdichte und dem Erfassungssystem des Restmülls zu schichten. Das Erfassungssystem für Restmüll ist ein relevantes Schichtungskriterium für LVP, da es messbaren Einfluss auf die getrennt gesammelte LVP-Menge und Qualität hat.

Auf bundesweiter Ebene müssen folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- ▶ Siedlungsdichte:
 - Ländlich: < 150 Ew je km²
 - Ländlich dicht: 150 Ew je km² bis 750 Ew je km²
 - Städtisch /Großstädtisch: >750 Ew je km²
- ▶ Gebührensystem der Restmüllsammlung
 - Regelabfuhr
 - Gebührenrelevante technisierte Systeme (Identsysteme²)

Nach diesen Schichtungskriterien ergibt sich folgende Matrix (siehe Tabelle 5), nach der die öRE der Bundesrepublik Deutschland sechs verschiedenen Schichten zugeordnet werden können. Die Schichtung der Siedlungsstruktur muss dem zu untersuchendem Gebiet angepasst werden, die Aufteilung der ländlichen Schichtung kann bei Bedarf in eine Kategorie zusammengefasst werden.

Tabelle 5: Matrix Schichtungskriterien auf Bundesebene

Siedlungsstruktur	Gebührensystem der Restmüllsammlung
Ländlich (<150 Ew/km ²)	Regelabfuhr
	Gebührenrelevante technisierte Systeme (Identsysteme)
Ländlich dicht (150 Ew/km ² bis 750 Ew/km ²)	Regelabfuhr
	Gebührenrelevante technisierte Systeme (Identsysteme)
Städtisch/Großstädtisch (>750 Ew/km ²)	Regelabfuhr
	Gebührenrelevante technisierte Systeme (Identsysteme)

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 zwölf ausgewählte öRE, die auf sechs Schichten mit jeweils zwei öRE je Schicht zu verteilen sind.

Als Zielgröße wurde die Genauigkeitsanforderung auf Ebene der öRE mit einer zulässigen Abweichung von ± 10 % der Abfallmenge bei einem Konfidenzniveau von 95 % festgelegt. Daraus ergeben sich 6 bis 8 Stichprobeneinheiten je Schicht mit einer Genauigkeitsanforderung

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

von ca. ± 24 %. Für das Gesamtergebnis auf örE-Ebene werden dann ± 10 % Genauigkeit und für die Ergebnisse auf Bundesebene werden Genauigkeiten von ± 3 bis 5 % für die hochgerechnete Abfallmenge erreicht.

Für eine Sortieranalyse auf örE-Ebene müssen somit insgesamt mindestens 48 Stichprobeneinheiten untersucht werden.

Daraus ergibt sich ein Stichprobenumfang für die bundesweite Untersuchung von 2×6 Schichten auf Bundesebene $\times 48$ Stichprobeneinheiten auf örE-Ebene entsprechend einer Gesamtanzahl von 576 Stichprobeneinheiten.

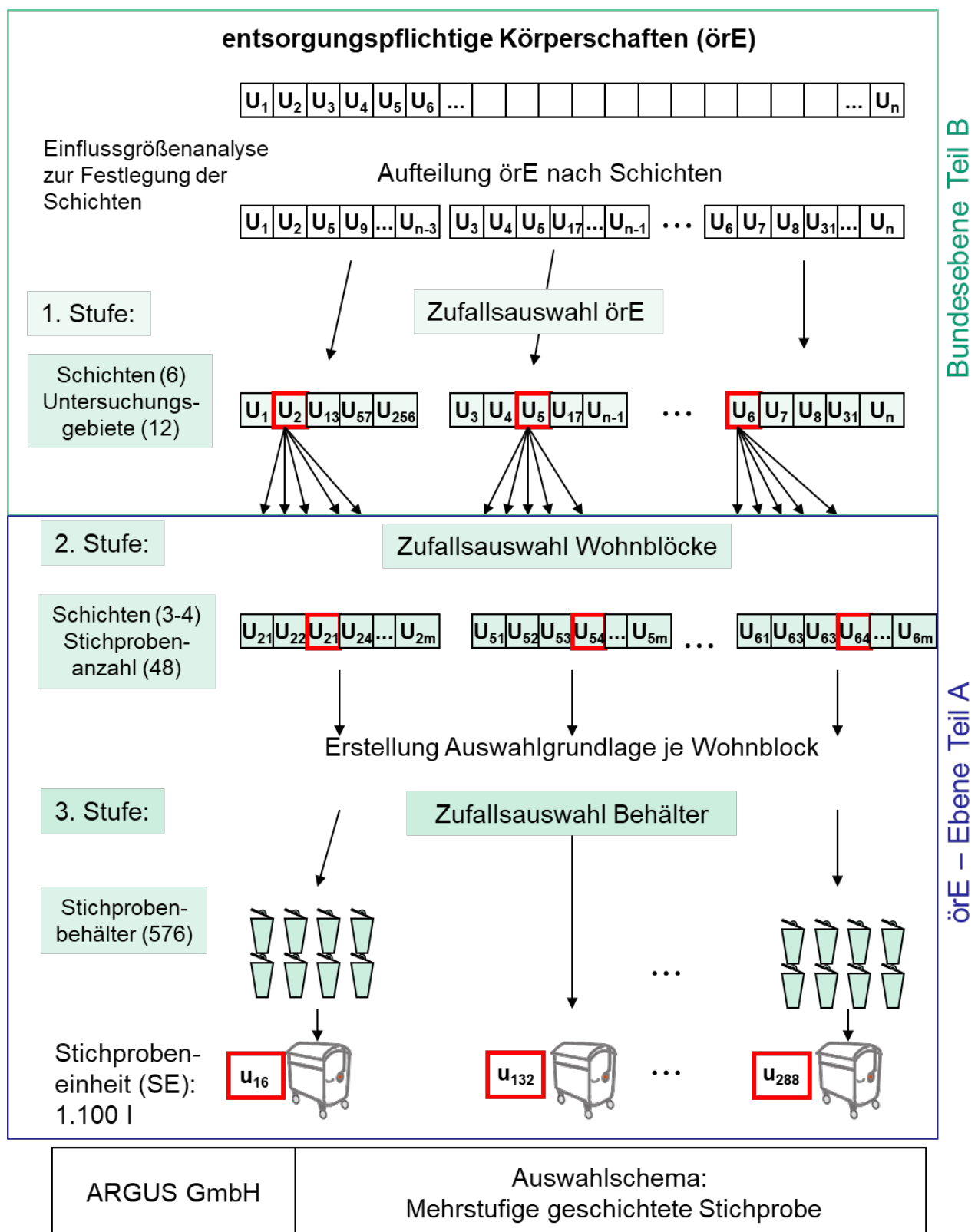
Je nach Untersuchungsrahmen und -anforderung kann ein höherer Stichprobenumfang bestimmt werden (siehe Teilbericht 1 zum Forschungsvorhaben Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme; Forschungskennzahl 3723 31 103 1).

8.2.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten

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

Abbildung 4 zeigt eine schematische Übersicht der Verteilung der Stichprobenanzahlen auf die Schichten und die Auswahlstufen.

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl – LVP



Quelle: Eigene Abbildung, ARGUS

9 Auswertung und Hochrechnung (Bundesebene)

Aufgrund der Komplexität des LVP-Abfalls im Untersuchungsgebiet wird für die bundesweite Analyse ein mehrstufiges geschichtetes Auswahlverfahren angewendet.

Zur Vorbereitung der Hochrechnung werden die erforderlichen Rahmendaten zusammengestellt (Kapitel 9.1) und gemäß der Berechnungsformeln in Kapitel 9.2 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, Studenten)
- ▶ ...

9.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten

Methode A

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 (Methode A)

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

9.2.1.1 Hochrechnung auf Schichtebene DE (Methode A)

Die Ergebnisse der örE-Untersuchungen sind nach den folgenden Schritten auf die jeweiligen bundesweiten Schichten (Deutschland Gesamt) und das Kalenderjahr hochzurechnen. Mit Gleichung 13 werden die Schichtergebnisse der örE [t/(Wo)] auf die bundesweiten Schichtwerte hochgerechnet.

$$\hat{X}_{k,h_{DE},l} = \sum_{m=1}^{n_m} \sum_{h_{örE}=1}^{n_{h_{örE}}} \hat{X}_{k,h_{DE},m,h_{örE},l} \quad \text{Gleichung 13}$$

$\hat{X}_{k,h_{DE},l}$ 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
l	Laufindex für Stoffgruppen
m	Laufindex für Primärstichproben
$n_{h_{örE}}$	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 DE-Gesamt (Methode A)

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen je Kampagne erfolgt auf Basis der Schätzwerte der DE-Schichten nach Gleichung 14. Die ermittelten absoluten Abfallmengen je Kampagne sind auf den Gesamtwert für Deutschland im Betrachtungszeitraum im Kalenderjahr gemäß Gleichung 15 hochzurechnen. Der Wert für den Gewichtungsfaktor GF_k kann Kapitel 5.2.1.4 entnommen werden.

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{h_{DE}=1}^{n_{h_{DE}}} \frac{EW_{h_{DE}}}{ew_{h_{DE}}} \cdot \hat{X}_{k,h_{DE},l} \quad \text{Gleichung 14}$$

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} GF_k \cdot \frac{365}{7} \cdot \hat{X}_{k,l} \quad \text{Gleichung 15}$$

\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 jahreszeitliche Einflussfaktoren je Kampagne (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 LVP in Masse-% abgeleitet werden.

Methode B

Die Hochrechnung der Massen der Stichprobeneinheiten (in kg je Stichprobeneinheit) auf die Grundgesamtheit (Gesamtmassen in Tonnen je Jahr und 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.

9.2.2 Hochrechnung auf DE Schichten (Methode B)

Basierend auf den örE-Ergebnissen werden die bundesweiten Schätzwerte für DE-Schichten, Kampagnen und Insgesamt berechnet. Im Rahmen von Methode B entfällt jedoch die Betrachtung der örE-Ebene. Stattdessen erfolgt die Hochrechnung massebezogen auf Grundlage der in den Abfallbilanzen ausgewiesenen Mengen der örE.

9.2.2.1 Hochrechnung auf Schichtebene DE (Methode B)

Die Ergebnisse der örE-Untersuchungen sind nach den folgenden Schritten auf die jeweiligen bundesweiten Schichten (Deutschland Gesamt) und das Kalenderjahr hochzurechnen. Mit Gleichung 16 werden die Ergebnisse der örE [t/(Wo)] auf die bundesweiten Schichtwerte hochgerechnet.

$$\hat{X}_{k,h_{DE},l} = \sum_{m=1}^{N_m} X_{k,h_{DE},m} \cdot \frac{\hat{X}_{k,h_{DE},m,l}}{\hat{X}_{k,h_{DE},m}} \quad \text{Gleichung 16}$$

$\hat{X}_{k,h_{DE},l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne k und Stoffgruppe l
$\hat{X}_{k,h_{DE},m,l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne k , Schicht h_{DE} , Primäreinheit m und Stoffgruppe l (in Gleichung 7 als $\hat{X}_{k,l}$ bezeichnet)
$\hat{X}_{k,h_{DE},m}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne k , Schicht h_{DE} und Primäreinheit m
$X_{k,h_{DE},m}$	Nettomasse je Kampagne k , Schicht h_{DE} und Primäreinheit m (in Gleichung 7 als X_k bezeichnet)
k	Laufindex für Kampagnen
l	Laufindex für Stoffgruppen
h_{DE}	Laufindex für DE-Schichten
m	Laufindex für Primärstichproben bzw. Primäreinheiten in der Grundgesamtheit
N_m	Anzahl der örE in der Grundgesamtheit

9.2.2.2 Hochrechnung auf DE-Gesamt (Methode B)

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen je Kampagne erfolgt auf Basis der Schätzwerte der DE-Schichten nach Gleichung 17. Die ermittelten absoluten Abfallmengen je Kampagne sind auf den Gesamtwert für Deutschland im Betrachtungszeitraum im Kalenderjahr gemäß Gleichung 18 hochzurechnen. Der Wert für den Gewichtungsfaktor GF_k kann Kapitel 5.2.1.4 entnommen werden.

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{h_{DE}=1}^{n_{h_{DE}}} \hat{X}_{k,h_{DE},l} \quad \text{Gleichung 17}$$

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} GF_k \cdot \frac{365}{7} \cdot \hat{X}_{k,l} \quad \text{Gleichung 18}$$

\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_k	Anzahl der Kampagnen
$n_{h_{DE}}$	Anzahl der DE-Schichten
GF_k	Gewichtungsfaktor für jahreszeitliche Einflussfaktoren je Kampagne (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 LVP in Masse-% abgeleitet werden.

Methode C

Die Hochrechnung auf den Gesamtwert für Deutschland wird analog der Methode B durchgeführt.

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 (Mg/a) dargestellt werden.

Des Weiteren wird im Anhang des Ergebnisberichts 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-Ebene 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 6 und Tabelle 7 dargestellt. Die Bezeichnungen und Indizes sind analog zur Ergebnisdarstellung auf öRE-Ebene (siehe Kapitel 6).

Tabelle 6: Darstellung der Ergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen und Schichten

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Schicht 1 ¹ (Einheit) ²	Schicht 2 ¹ (Einheit) ²	Schicht c ¹ (Einheit) ²	Gesamt (Einheit) ²
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 kg/Wo eingesetzt werden, für Jahresgesamtergebnisse Masse-%, $\text{kg}/(\text{Ew} \cdot \text{a})$ und Mg/a .

Tabelle 7: 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-m				

11 Qualitätssicherung (Bundesebene)

Die Ergebnisse auf Bundesebene können aus den Resultaten der örE-Ebene 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 (abgerufen am 20.03.2025).
- 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 (abgerufen am 30. Oktober 2025).
- 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. (2005): 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. (2019): 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. (2023): 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. (2023): 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.
- Europäisches Parlament & Rat der Europäischen Union. (2024). Verordnung (EU) 2025/40 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Dezember 2024 über Verpackungen und Verpackungsabfälle. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 5, 07.01.2025.
- 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.
- LfUG - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft. [Hrsg.] (2014): Richtlinie zur einheitlichen Abfallanalytik in Sachsen - Sächsische Sortierrichtlinie, Eigenverlag, Dresden.
- 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 sind 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.