

TEXTE

57/2026

Teilbericht 2.2

# Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme

## Sperrmüll

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 2.2

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

Sperrmüll

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-8149>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2026

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

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

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

Die Methodik zur Durchführung von Abfallanalysen umfasst die Probenahme und Sortierung sowie die statistische Hochrechnung der Ergebnisse. Ein mehrstufiges und geschichtetes Stichprobenverfahren wird dazu verwendet, um repräsentative Daten zu gewinnen, die regionale, saisonale und siedlungsstruktur-bedingte Unterschiede in der Abfallzusammensetzung berücksichtigen. Die Probenahme erfolgt sowohl bei angelieferten Mengen an Sammelstellen (Bringsystem) als auch bei bereitgestellten Mengen zur Abholung (Holsystem). Anschließend wird der Sperrmüll in verschiedene Stoffgruppen klassifiziert. Dabei werden auch spezielle Anforderungen an die technische Durchführung und die Qualitätssicherung berücksichtigt. Die Stichprobenergebnisse werden in Kampagnen auf örE-Ebene erfasst, analysiert und statistisch hochgerechnet. Ziel ist es, genaue und belastbare Daten zur Menge und stoffliche Zusammensetzung, die über die jeweiligen Entsorgungspfade anfallenden Abfälle zu erheben, die als Grundlage für die Erfüllung von Berichts- und Untersuchungspflichten, für ein Monitoring und zur Verbesserung der Recyclingmethoden dienen.

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

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

The methodology for conducting waste analyses includes sampling, sorting, and the statistical extrapolation of results. A multi-stage and stratified sampling method is used to obtain representative data that reflect regional, seasonal, and settlement-structure-related differences in waste composition. Sampling takes place both at drop-off points (drop-off system) and at the point of collection from households (curbside collection system). Subsequently, the bulky waste is classified into different material groups. Special requirements regarding technical implementation and quality assurance are also taken into account. The sampling results are collected, analyzed, and statistically extrapolated in campaigns at the level of public disposal providers (örE). The aim is to generate accurate and reliable data on the quantity and material composition of waste arising through the respective disposal paths, serving as a basis for fulfilling reporting and investigation obligations, for monitoring, and for improving recycling methods.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis .....	9
Abkürzungsverzeichnis.....	10
1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für Sperrmüll.....	12
2 Untersuchungsgegenstand.....	14
Teil A: Methodenbeschreibung für das Entsorgungsgebiet der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger .....	15
3 Untersuchungsplanung (örE-Ebene) .....	16
3.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten) .....	17
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 im Holsystem .....	19
3.2.3.3 Notwendiger Stichprobenumfang im Bringsystem .....	19
3.2.3.4 Notwendiger Stichprobenumfang für die Eigenbestimmungen der Schüttdichten bei einer manuellen Sortierung .....	20
3.2.3.5 Auswahl der Stichprobeneinheiten im Holsystem .....	20
3.2.3.6 Auswahl der Stichprobeneinheiten im Bringsystem .....	20
4 Durchführung .....	23
4.1 Stichprobenahme.....	23
4.1.1 Holsystem .....	23
4.1.2 Bringsystem.....	23
4.2 Analysen.....	23
4.2.1 Volumenschätzung.....	23
4.2.2 Manuelle Sortierung zur Bestimmung der Schüttdichten und zur Verbesserung der Datenlage.....	23
4.3 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung.....	24
5 Auswertung und Hochrechnung (örE-Ebene) .....	27
5.1 Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung.....	27
5.2 Vorgehensweise der mehrstufigen geschichteten Hochrechnung nach Kampagnen und Schichten.....	28
5.2.1 Umrechnung volumenbezogener Daten auf massebezogene Daten.....	28

5.2.2	Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf örE-Ebene im Holsystem.....	28
5.2.2.1	Standardisierung der Stichprobenergebnisse .....	28
5.2.2.2	Datenprüfung der Stichprobenergebnisse .....	29
5.2.2.3	Hochrechnung auf Schichten (örE-Ebene).....	30
5.2.2.4	Hochrechnung auf Gesamt (örE-Ebene) .....	30
5.2.3	Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf örE-Ebene im Bringsystem.....	31
5.2.4	Zusammenführung der Hochrechnungsergebnisse aus dem Hol- und Bringsystem auf örE-Ebene.....	32
6	Dokumentation und Ergebnisbericht (örE-Ebene) .....	33
7	Qualitätssicherung (örE-Ebene) .....	35
Teil B: Methodenbeschreibung zur Zusammenführung und Hochrechnung der Abfallanalysen für Gesamt Deutschland .....		
8	Untersuchungsplanung (Bundesebene).....	38
8.1	Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten) .....	38
8.2	Untersuchungsspezifische Planungsdaten.....	38
8.2.1	Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse).....	38
8.2.2	Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf Bundesebene) .....	38
8.2.3	Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben).....	40
8.2.3.1	Definition der Stichprobeneinheiten .....	40
8.2.3.2	Notwendiger Stichprobenumfang im Holsystem .....	40
8.2.3.3	Notwendiger Stichprobenumfang im Bringsystem .....	40
8.2.3.4	Auswahl der Stichprobeneinheiten im Hol- und Bringsystem auf Bundesebene.....	40
9	Auswertung und Hochrechnung (Bundesebene) .....	42
9.1	Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung.....	42
9.2	Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten .....	42
9.2.1	Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf Deutschland (DE)-Ebene im Holsystem .....	42
9.2.2	Hochrechnung auf DE Schichten (Kampagnen und Gesamt).....	43
9.2.2.1	Hochrechnung auf Schichtebene DE.....	43
9.2.2.2	Hochrechnung auf Kampagnenebene und DE-Gesamt .....	43
9.2.3	Hochrechnung auf DE Schichten (Kampagnen und Gesamt).....	44
9.2.3.1	Hochrechnung auf Schichtebene DE.....	44
9.2.3.2	Hochrechnung auf Kampagnenebene und DE-Gesamt .....	45
9.2.4	Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf DE-Ebene im Bringsystem.....	45

9.2.5	Zusammenführung der Hochrechnungsergebnisse aus dem Hol- und Bringsystem auf DE-Ebene.....	46
10	Dokumentation und Ergebnisbericht (Bundesebene).....	47
11	Qualitätssicherung (Bundesebene) .....	49
12	Quellenverzeichnis .....	50
A	Anlagen.....	51
A.1	Technische Voraussetzungen.....	51
A.2	Personelle Voraussetzungen.....	51
A.3	Arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen .....	51

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abgrenzung von Siedlungsabfällen nach Herkunft .....	14
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl - Sperrmüll	22
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl - Sperrmüll	41

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Matrix Schichtungskriterien auf örE-Ebene.....	18
Tabelle 2:	Stoffgruppenkatalog Sperrmüll für eine Standardanalyse.....	24
Tabelle 3:	Darstellung der Ergebnisse der örE nach Stoffgruppen und Schichten .....	33
Tabelle 4:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf örE Ebene nach Stoffgruppen.....	34
Tabelle 5:	Matrix Schichtungskriterien auf Bundesebene .....	39
Tabelle 6:	Darstellung der Ergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen und Schichten .....	47
Tabelle 7:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf Bundesebene .....	48

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
<b>a</b>	Jahr
<b>ALS</b>	alt-ländliche Struktur
<b>BioStoffV</b>	Biostoffverordnung
<b>DE</b>	Deutschland
<b>EAG</b>	Elektro(nik)altgeräte
<b>Ew</b>	Einwohner
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>EZH</b>	Ein- und Zweifamilienhäuser
<b>Fe-Metall</b>	Eisenmetall
<b>g</b>	Gramm
<b>GF</b>	Gewichtungsfaktor
<b>ggf.</b>	gegebenenfalls
<b>GMH</b>	geschlossene Mehrfamilienhausbebauung
<b>GWA</b>	Großwohnanlage
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>km</b>	Kilometer
<b>LfULG</b>	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft
<b>LfU RIP</b>	Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz
<b>LMA</b>	Lebensmittelabfälle
<b>m<sup>3</sup></b>	Kubikmeter
<b>Mg</b>	Megagramm
<b>mm</b>	Millimeter
<b>MMS</b>	städtische Struktur mit Mehrfamilienhausbebauung
<b>NE-Metall</b>	nicht-eisenhaltige Metalle
<b>NLS</b>	neu-ländliche Struktur
<b>örE</b>	öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
<b>OMH</b>	offene Mehrfamilienhausbebauung
<b>PPK</b>	Papier, Pappe, Karton
<b>t</b>	Tonnen
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>Wo</b>	Woche

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
%	Prozent

# 1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für Sperrmüll

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 Abfalluntersuchungen alle vier bzw. fünf Jahre durch genaue und belastbare Messungen untersuchen zu lassen. Auch für Alttextilien ist die Einführung einer Untersuchungspflicht zeitnah absehbar (geeinter Kompromisstext zur Änderung der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EC<sup>1</sup>).

Um die angefallene Abfallmenge an Stoffen/ Produkten und der über die bestimmungsgemäße Rücknahme erfassten Wertstoffmenge ermitteln zu können, ist es erforderlich, die stoffliche Zusammensetzung aller als relevant identifizierten Entsorgungspfade (vorrangig alle nicht-bestimmungsgemäßen Entsorgungspfade) zu bestimmen. Diese Menge kann dann mit der Menge, die über den Ansatz der in Verkehr gebrachten Menge verglichen (Cross Check) und ausgeglichen (Balancing) werden, um bessere Werte zu erhalten.

Darüber hinaus besteht ein gesteigertes Interesse, die Stoffströme Elektro(nik)altgeräte (EAG), Bioabfälle 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 Sperrmüll als nicht-bestimmungsgemäßer Entsorgungspfad beschrieben. Für den Sperrmüll 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 vergleichenden Analysen von Siedlungsrestabfällen, 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 RLP), 2022; Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz, 2023).

Die Daten zu Aufkommen und Zusammensetzung von Sperrmüll sollen vergleichbar, fortschreibbar und zusammenführbar (LfU RLP, 2022; Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz, 2023) sein und sollen bezüglich ihrer Sortierstoffgruppen gemäß Stoffgruppenkatalog mit den für die Abfallströme darüber hinaus benötigten nicht-bestimmungsgemäßen Entsorgungspfaden kompatibel sein. Die Untersuchungsergebnisse der Sperrmüllanalysen sollen für alle relevanten Stoffströme so konzipiert werden, dass die Ergebnisse für alle Stoffströme genutzt werden 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

---

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

B) Zusammenführung und Hochrechnung der Abfallanalysen für Deutschland gegliedert.

## 2 Untersuchungsgegenstand

Mit der vorliegenden Methodenbeschreibung für Sperrmüll 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 vorhergesehen. Die Methodenbeschreibung von **Teil B** baut auf dem Inhalt von **Teil A** auf.

Sperrmüll beinhaltet sämtliche aus privater und gewerblicher Herkunft anfallenden Abfälle (Sperrmüll aus privaten Haushalten und Sperrmüll aus Gewerbe), bei denen es sich um große Bestandteile handelt, die nicht in Behälter der Größe von 1,1 Kubikmeter (m<sup>3</sup>) entsorgt werden können. Unter Sperrmüll fallen auch gewerbliche Abfälle (der sogenannte Geschäftsmüll). Die Sammlung erfolgt haushaltsnah durch ein Holsystem (durch regelmäßige Straßensammlungen oder durch Abholung auf Abruf) und/oder durch ein Bringsystem der öffentlich-rechtlichen Entsorger (örE) an Wertstoffhöfen bzw. Recyclingstationen. Im Holsystem sind direkt kostenpflichtige Abholungen und Abholungen, mit begrenzter Anzahl, die in den Hausmüllgebühren enthalten sind, zu unterscheiden.

Die Gesamtmenge des Sperrmülls wird den jährlichen Abfallbilanzen der örE entnommen. Eine Hochrechnung der Abfallmenge des Sperrmülls aus privaten Haushalten über die angeschlossenen Haushalte bzw. Einwohner ist, aufgrund der nur für wenige örE nachvollziehbaren Abholungen über den Jahresverlauf zur Bestimmung der Standzeiten, selten realisierbar. Aus diesem Grund ist auch eine Abschätzung der gewerblichen Anteile am Sperrmüll, der über die Sperrmüllabholungen gesammelt wird, nur begrenzt umsetzbar.

Die Abbildung 1 zeigt die Abgrenzung von Sperrmüll aus privater Herkunft und Sperrmüll aus gewerblicher Herkunft (Geschäftsmüll), welcher in gemeinsamen Sammeltouren mit Sperrmüll aus privater Herkunft gesammelt wird. Sperrmüllartige Abfälle aus gewerblicher Herkunft (Industrie und Gewerbe), welche nicht im Rahmen der kommunalen Sperrmüllabholung abgeholt werden und die von Gewerbebetrieben oder von Entsorgungsunternehmen an Recyclinghöfe oder Abfallanlagen angeliefert werden, sind kein Sperrmüll und dem gemischten Gewerbeabfall zuzuordnen. Der Untersuchungsgegenstand beinhaltet somit Sperrmüll aus privaten Haushalten und Sperrmüll aus Geschäften.

Die Stichprobenauswahl sowie die Hochrechnung des Geschäftsmüllanteils im Sperrmüll ist methodisch so angelegt, dass die Anteile privater und gewerblicher Herkunft getrennt ausgewiesen werden können.

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

### Sperrmüll priv. Haushalte – Sperrmüll Geschäfte – Gewerbeabfall (kein Sperrmüll)

Herkunft:	Private Haushalte	Geschäfte (Sperrmüll) / Gewerbe (kein Sperrmüll)
Sammlung:	Holsystem: Kommunale Sammlung (örE) Bringsystem: Recyclinghof	Gewerbliche Sammlung (private Entsorger, Gewerbeabfall)
Messung:	Abholung am Grundstück Anlieferung am Recyclinghof	Wechselcontainer

Quelle: Eigene Darstellung, ARGUS

**Teil A:**  
**Methodenbeschreibung 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 u. a. von den Entsorgern/örE kein vollständiges Auswahlverzeichnis für alle Abhol- bzw. Bringstandorte 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.

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der Sperrmüllmenge aus privaten Haushalten erfolgt im Regelfall (Standard) durch Sichtungen der zur Abholung bereitgestellten Sperrmüllmengen und durch Sichtungen der auf den Recyclingstationen angelieferten Mengen. Die Auswahl der zur Sichtung vorgesehenen Stichproben (Sperrmüllabholungen am Grundstück bzw. Anlieferungen an den Wertstoffhöfen) erfolgt nach dem Zufallsprinzip. Für die stoffliche Zusammensetzung der Geschäftsmüllmenge wird wegen der „Ähnlichkeit“ zu Sperrmüll aus privaten Haushalten und der geringen Anteile des Sperrmülls aus Gewerbe die gleiche stoffliche Zusammensetzung für Sperrmüll aus privater und gewerblicher Herkunft angenommen.

Die Untersuchungsparameter bei der Sperrmülluntersuchung sind Volumenangaben, sowohl für die Stichprobeneinheiten als auch für deren Stoffgruppen. Daher muss eine Umrechnung von Volumenangaben auf Masseangaben erfolgen. Hierzu sind Schüttdichten für die zu untersuchenden Stoffgruppen aus bereits durchgeführten Untersuchungen oder von Zusatzuntersuchungen, die im Rahmen der örE-Untersuchung durchzuführen sind, zu entnehmen.

Aufgrund der Organisation der Sperrmüllentsorgung über Hol- und Bringsysteme wird die Stichprobenplanung, die Stichprobenerhebung und die Auswertung und Hochrechnung auf örE-Ebene für das Hol- und für das Bringsystem getrennt beschrieben. Daraus ergibt sich folgende Vorgehensweise für die Sperrmülluntersuchung:

- ▶ Für die Sperrmülluntersuchung ist jeweils das Hol- und das Bringsystem zu untersuchen und die Ergebnisse anteilig zusammenzuführen
- ▶ Die Untersuchungsmethodik ist die Sichtung (optische Klassifikation)
- ▶ Die Zugriffsebene (Messpunkte) sind für das Holsystem die Abholungen bei privaten Haushalten und Kleingewerbe (Grundstücke) und für das Bringsystem die Anlieferungen von privaten Haushalten und Kleingewerbe (Wertstoffhöfe/ Recyclingstationen)
- ▶ Die Berücksichtigung von Einflussgrößen (Schichten) sind für das Hol- und Bringsystem gleich anzunehmen

- ▶ Zur Eigenbestimmung der Schüttdichten wird eine manuelle Sortierung empfohlen. Die manuelle Sortierung wird in der Stichprobenplanung in Kapitel 3.2.3 sowie in der Durchführung in Kapitel 4.2.2 beschrieben

Im Rahmen von Sonderuntersuchungen kann die Sperrmüllmenge und Zusammensetzung nach Unterstoffgruppen durch manuelle Sortierungen auch differenzierter untersucht werden.

### **3.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten)**

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

Für die Planung werden im Regelfall folgende Rahmendaten benötigt:

- ▶ Jahreszeitliche Einflüsse
- ▶ Abholplanung der Sperrmüllsammlung, Sammelturnusse, Zeitpunkt der letzten Sperrmüllabholung
- ▶ Gebäudestrukturdaten für die Planung der Schichten (örE-Ebene und Bundesebene)
- ▶ Einwohnerstrukturdaten für die Planung der mehrstufigen Auswahl (örE-Ebene und Bundesebene)

### **3.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten**

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

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

Für die Sperrmüllanalyse wird eine Untersuchungskampagne für die Jahresuntersuchung festgelegt. Wochen, in denen das Entsorgungsverhalten von Feiertagen oder Ferienzeiten beeinflusst wird, sollten bei der Auswahl ausgeschlossen werden. In touristischen Gebieten sind Abweichungen der Einwohnerzahlen durch Feriengäste/ Ferienwohnungen in der Auswertung zu berücksichtigen (siehe hierzu 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)**

Auf örE-Ebene ist für das Holsystem nach Bebauungsstruktur zu schichten. Für das Bringsystem ist die Herkunftszuordnung nur näherungsweise möglich, daher werden im Bringsystem Wertstoffhöfe nicht den Bebauungsstrukturen zugeordnet. Die Beschreibung der Schichten auf Bundesebene erfolgt in Teil B, Kapitel 8.2.2 der Methodenbeschreibung.

Je nach Siedlungsdichte des ausgewählten örE-Gebiets können verschiedene Bebauungsstrukturen (örE-Schichten) erfasst werden, siehe Tabelle 1. Es ist auch möglich, unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten in den Entsorgungsgebieten, Erweiterungen vorzunehmen. Erweiterungen müssen in die vorgegebene Grundstruktur der Schichtung überführbar sein.

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

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

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

**Alt-ländliche Struktur:** Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Grundstücke unterschiedlicher Größe in gewachsener Struktur, Einzelbehälterstandplätze 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 eingehauste Standplätze, gegebenenfalls (ggf.) hoher Gewerbeanteil

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

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

**Ein- und Zweifamilienhäuser:** Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Einzelbehälterstandplätze 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, zum Teil Müllschleusen.

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

#### 3.2.3.1 Definition der Stichprobeneinheiten

**Holsystem:** Eine Stichprobeneinheit umfasst ein Abfallvolumen von ca. 1 bis 3 m<sup>3</sup> und entspricht damit in etwa einer zur Abholung bereitgestellten Sperrmüllmenge.

**Bringsystem:** Eine Stichprobeneinheit umfasst ein Abfallvolumen von ca. 100 bis 1.000 Liter und entspricht damit in etwa der Fahrzeug-Anlieferung einer Sperrmüllmenge am Wertstoffhof.

#### 3.2.3.2 Notwendiger Stichprobenumfang im Holsystem

Der notwendige Stichprobenumfang ergibt sich aus der Genauigkeitsanforderung für die Zielgröße (Gesamtmenge und die mengenmäßig relevanten Hauptstoffgruppen). Bei einem mehrstufigen Auswahlverfahren ist zudem festzulegen, für welche Ebene die Genauigkeitsanforderung zu erreichen ist.

Als Zielgröße für die Abfallmenge auf örE-Ebene wird ein Konfidenzintervall mit einer Breite von  $\pm 10$  Prozent (%) um den geschätzten Wert (zulässige Abweichung) bei einem Konfidenzniveau von 95 % festgelegt.

Bei einer Zufallsschwankung der Stichprobeneinheiten wird aus zurückliegenden Untersuchungen eine Streuung (ausgedrückt über den natürlichen Variationskoeffizienten) von 100 bis 120 %) zugrunde gelegt. Um eine Genauigkeit der Schätzwerte für die Sperrmüllzusammensetzung von  $\leq 10$  % zu erreichen, müssen auf Bundesebene 864 Stichproben untersucht werden.

Daraus ergeben sich auf Schichtebene der örE je Schicht 18 Stichprobeneinheiten bei vier Schichten oder 24 Stichprobeneinheiten je Schicht bei drei Schichten. Für jede Untersuchung im Holsystem auf örE-Ebene müssen somit insgesamt mindestens 72 Stichprobeneinheiten untersucht werden. Damit wird eine Genauigkeit auf Stichprobenebene von ca.  $\pm 28$  % erreicht. Je nach Untersuchungsrahmen und -anforderung kann ein höherer Stichprobenumfang bestimmt werden (siehe Teilbericht 1 zum Forschungsvorhaben Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme; Forschungskennzahl 3723 31 103 1).

#### 3.2.3.3 Notwendiger Stichprobenumfang im Bringsystem

Für das Bringsystem werden kleinere Stichprobeneinheiten, bedingt durch die Anlieferung mit Personenkraftwagen erwartet, welche zu sichten bzw. zu sortieren sind. Die Anzahl der Einzelstichproben ist im Vergleich zu den Stichprobeneinheiten im Holsystem entsprechend zu erhöhen.

Für die Bestimmung der Sperrmüllzusammensetzung im Bringsystem, wird jeweils ein Wertstoffhof je Bauungsschicht mit 24 bzw. 32 Sichtungen je Schichtanzahl und je Wertstoffhof festgelegt. Für jede Untersuchung im Bringsystem auf örE-Ebene müssen somit insgesamt mindestens 96 Stichprobeneinheiten untersucht werden. Für die geplante Schichtung auf Bundesebene bedeutet dies, dass 1.152 Stichprobeneinheiten benötigt werden.

#### **3.2.3.4 Notwendiger Stichprobenumfang für die Eigenbestimmungen der Schüttdichten bei einer manuellen Sortierung**

Auf örE-Ebene sind drei Stichprobeneinheiten im Holsystem und drei Stichprobeneinheiten im Bringsystem zur Bestimmung der Schüttdichten in einer manuellen Sortierung zu analysieren. Die Stichprobeneinheiten können im Rahmen der Sichtungen gezogen und vor Ort in einem Fahrzeug/ Anhänger oder an einem geeigneten Sortierplatz analysiert werden. D.h. je drei Stichprobeneinheiten je örE sind anstelle von drei Sichtungen (der 72 Sichtungen je örE) im Holsystem und anstelle von drei Sichtungen (der 96 Sichtungen je örE) im Bringsystem zu sortieren.

Insgesamt werden damit bundesweit je 36 Stichprobeneinheiten im Holsystem und 36 Stichprobeneinheiten im Bringsystem manuell untersucht.

#### **3.2.3.5 Auswahl der Stichprobeneinheiten im Holsystem**

Aus den Rahmendaten des Untersuchungsgebietes aus Kapitel 3.1 ist eine Auswahl an Haushalten (zur Abholung bereitgestellte Sperrmüllmenge) für die Stichprobenahme zu erstellen. In der kommunalen Sperrmüllsammlung sind schätzungsweise 5 bis 10 % des Abfalls aus kleinen Gewerbebetrieben enthalten, die gemeinsam mit Sperrmüll aus privaten Haushalten abgeholt werden. Für den Sperrmüll aus Kleingewerbe wird angenommen, dass er eine ähnliche Zusammensetzung aufweist wie der Sperrmüll aus privaten Haushalten.

Das Volumen je Abholung sollte ca. 1 bis 3 m<sup>3</sup> betragen. Kleinere bereitgestellte Volumina sollten mit weiteren Abholungen zusammengefasst werden. Größere bereitgestellte Volumina werden nicht geteilt. Damit wird eine gleiche Wahrscheinlichkeit in der Auswahl der Stichproben gewährleistet. Die Stichprobenauswahl erfolgt geschichtet und mehrstufig in folgenden Schritten:

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

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.

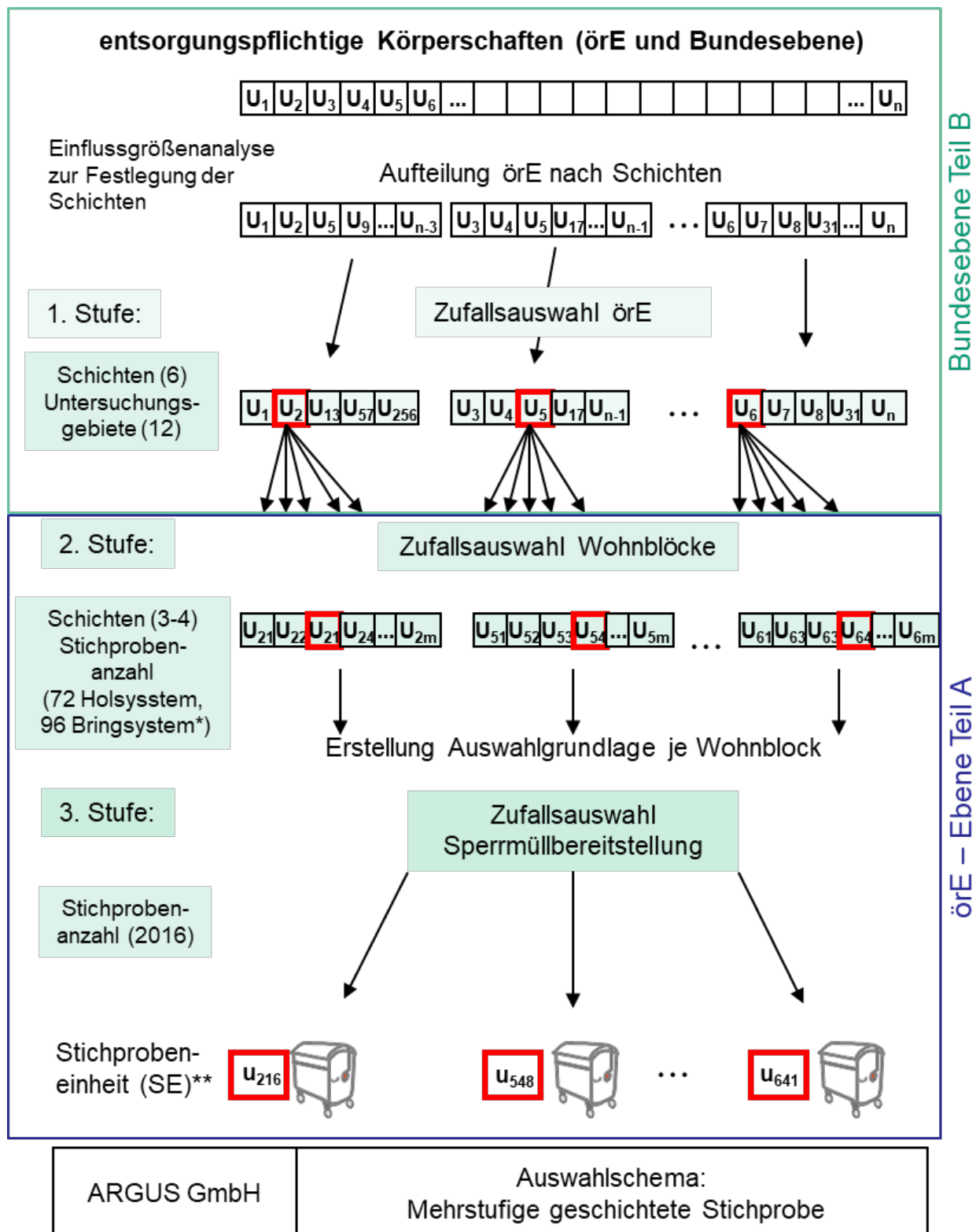
#### **3.2.3.6 Auswahl der Stichprobeneinheiten im Bringsystem**

Aus den Rahmendaten des Untersuchungsgebietes (siehe Kapitel 3.1) ist eine Auswahl an Sperrmüllanlieferungen an Wertstoffhöfen für die Stichprobenahme zu erstellen. In der kommunalen Sperrmüllsammlung sind schätzungsweise 5 bis 10 % des Abfalls aus kleinen Gewerbebetrieben enthalten, die gemeinsam mit Sperrmüll aus privaten Haushalten abgeholt werden. Für den Sperrmüll aus Kleingewerbe wird angenommen, dass er eine ähnliche Zusammensetzung aufweist wie der Sperrmüll aus privaten Haushalten.

Das ungefähre Volumen je Anlieferung sollte ca. 100 bis 1.000 Liter betragen. Kleinere bereitgestellte Volumina sollten mit weiteren Anlieferungen zusammengefasst werden. Größere bereitgestellte Volumina werden nicht geteilt. Damit wird eine gleiche Wahrscheinlichkeit in der Auswahl der Stichproben gewährleistet.

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

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



\*) Im Bringsystem keine Schichtung nach Wohnblöcken möglich

\*\*) Stichprobeneinheit ist Sperrmüllhaufen

Quelle: Eigene Darstellung, ARGUS

## 4 Durchführung

Zur Durchführung gehören die Stichprobenahme und die Volumenschätzung des Sperrmülls im Holsystem wie auch im Bringsystem. Weiterhin ist eine manuelle Sortierung zur Bestimmung der Schüttdichten vorgesehen. Die technischen und arbeitsschutzbezogenen Voraussetzungen für die praktische Durchführung einer Sperrmüllanalyse sind in den Anlagen A.1 bis A.3 aufgelistet.

### 4.1 Stichprobenahme

Bei der Sperrmüllsammmlung gibt es die Möglichkeit des Bring- und Holsystems. Die Abholung durch Abruf ist in Deutschland die führende Sammelsystematik für Sperrmüll. Vereinzelt wird Sperrmüll auch noch in regelmäßigen Intervallen abgefahren. Das Verfahren der unregelmäßigen Abholungen wird mittlerweile aus Gründen der Sauberkeit vermehrt verwendet. Die Gebühren für den Abruf des Sperrmülls werden durch die Kommunen definiert.

#### 4.1.1 Holsystem

Die Probenahme im Holsystem erfolgt am Tag der Bereitstellung durch den Kunden vor dem Transport im Sammelfahrzeug. Die Probenahme vor Ort umfasst im Allgemeinen die vollständige Menge des bereitgestellten Sperrmülls, einschließlich möglicherweise vorhandener zusätzlicher Ablagerungen. Für die Ermittlung des Zeitraumes der letzten Entsorgung/Bereitstellung muss beim Abrufverfahren eine Befragung des Entsorgers/des Kunden durchgeführt werden. Bei einer Regelabfuhr werden von den Entsorgern die regelmäßigen Zeiträume der Abholung erfragt. Diese Zeitabstandsdaten werden für die Mengenhochrechnung benötigt. Am Stichprobenort der Probennahme wird gleichzeitig auch die Ermittlung der stofflichen Zusammensetzung anhand einer Sichtung durchgeführt. Falls Abweichungen von dieser Vorgehensweise erforderlich sind, müssen diese dokumentiert und bei der weiteren Auswertung berücksichtigt werden

#### 4.1.2 Bringsystem

Im Bringsystem erfolgt die Probenahme am Tag der Bereitstellung durch den Abfallerzeuger während der Entladung am Sammelhof. Gleichzeitig wird jener Abfallerzeuger befragt, um die Zeitspanne der letzten und der derzeitigen Entladung zu dokumentieren. Es ist wichtig, dass die Analyse des Sperrmülls vor der Trennung am Sammelhof durchgeführt wird.

### 4.2 Analysen

#### 4.2.1 Volumenschätzung

Die Untersuchung der Materialzusammensetzung erfolgt, sowohl bei den angelieferten Mengen an den Sammelstellen (Bringsystem), als auch bei den bereitgestellten Mengen bei der Abholung (Holsystem), anhand der optischen Klassifikation. Dabei wird die Verteilung ausgewählter Stoffgruppen im Verhältnis zum Gesamtvolumen abgeschätzt.

#### 4.2.2 Manuelle Sortierung zur Bestimmung der Schüttdichten und zur Verbesserung der Datenlage

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung des Sperrmülls erfolgt durch händische Sortierung nach Stoffgruppen für jede Schicht. Die Sortierung des Sperrmülls muss von geschultem Personal unter Aufsicht eines erfahrenen Sortierleiters durchgeführt werden.

Die Sperrmüllproben sind mit dem Stoffgruppenkatalog (siehe Tabelle 2) zu sortieren.

Folgende Massen einer Stichprobeneinheit sind anhand einer Wiegung für die folgende Auswertung zu ermitteln und zu dokumentieren:

- ▶ Masse Stichprobeneinheit vor der Analyse
- ▶ Einzelmassen der Stoffgruppen nach händischer Sortierung
- ▶ Volumen der Stichprobeneinheit

Am Ende der Untersuchung liegen für jede Stichprobeneinheit die Massen- bzw. Massenanteile der einzelnen Stoffgruppen sowie deren Volumina vor. Bei der Sortierung oder Sichtung von Sperrmüll ist zu beachten, dass Open-Scope-Elektro(nik)geräte häufig versehentlich als bestimmungsgemäßer Sperrmüll angesehen werden, obwohl es sich hierbei um einen Fehlwurf handelt. Diese Geräte werden bei den Analysen vollständig der Stoffgruppe EAG zugeordnet. Da aktuell der Entsorgungspfad EAG nicht Bestandteil der Abfallanalysen ist, müssen keine weiteren Maßnahmen ergriffen werden.

### 4.3 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung

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

In Tabelle 2 ist der Stoffgruppenkatalog für eine Standard-Analyse dargestellt. Werden zusätzliche Informationen oder eine Sonderanalyse benötigt, kann dieser Stoffgruppenkatalog um Stoffgruppen und Differenzierungsebenen erweitert werden, diese sind vollständig im Anhang A1 des Abschlussberichts „Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme; FKZ 3723 31 103 1“ aufgelistet.

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

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
1	Eisenmetalle (Fe-Metalle)	Fe-Metall-Verpackungen, sonstige Fe-Metall-Gegenstände
2	Nicht-eisenhaltige Metalle (NE-Metalle)	NE-Metall-Verpackungen, sonstige NE-Metall-Gegenstände
3	Papier, Pappe, Karton (PPK)	Papierverpackungen, Druckerzeugnisse, sonstiges PPK
4	Kunststoffe	Kunststoffverpackungen, sonstige Kunststoffe
5	Glas	Glasverpackungen, sonstiges Glas
6	Bioabfälle	Küchen- und Nahrungsabfälle
6-1	Lebensmittelabfälle (LMA)	LMA verpackt/unverpackt

Differenzierungs-ebene*	Stoffgruppe	Beispiele
6-2	Gartenabfälle	Laub, Rasenschnitt, Strauchwerk, Äste, Wurzelwerk, Topfpflanzen, Schnittblumen
6-3	Sonstige Organik	Kleintierstreu aus Holz, Hanfseile, Haare
7	Holz	Holzverpackungen, sonstiges Holz
8	Verbunde	Verbundverpackungen, sonstige Verbunde
8-1	Verbundverpackungen	Verbundverpackungen
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, altöhlhaltige Materialien, sonstige schadstoffbelastete Materialien, belastete Bauabfälle
11	Sonstige Abfälle	Alttextilien, nicht restentleerte Verpackungen (außer Lebensmittel), Stoffe anderweitig nicht genannt
11-1	Alttextilien	Bekleidung, Schuhe, Heimtextilien
11-1-1	Bekleidung	Bekleidung (inkl. 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)

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
11-5	Sonstige Abfälle	Teppiche, Matratzen, Fotos, Thermopapier, Backpapier, gefüllte Staubsaugerbeutel, Wachs, Beutel mit Hundekot, Gummi, Leder, Tierkadaver, sonstige den anderen Stoffgruppen nicht zuordenbare Bestandteile

\*Die Anzahl der Ziffern kennzeichnet die Differenzierungsebene (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:

- ▶ „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
- ▶ 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
- ▶ 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 Sperrmülls im Untersuchungsgebiet wird für die Analyse auf örE- und auf Bundesebene ein mehrstufiges geschichtetes Auswahlverfahren angewandt (siehe Kapitel 3.2, Abbildung 2). Die Entsorgung des Sperrmülls erfolgt über Abholungen an den Grundstücken (im Holsystem) und über die Ablieferung an Recyclingstationen der örE (im Bringsystem). Daher müssen für die Hochrechnung der Sperrmüllmengen immer beide Entsorgungssysteme betrachtet und für den Gesamtwert des Sperrmüllaufkommens und dessen stoffliche Zusammensetzung aufaddiert werden.

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. Für die Hochrechnung des Sperrmüllgesamtwertes sind die Voraussetzung für das Holsystem sowie für das Bringsystem in der Methodenentwicklung zu berücksichtigen.

Im Holsystem sind zwei Vorgehensweisen zu unterscheiden:

- a) **Die geschichtete Hochrechnung entlang der angeschlossenen Einwohner (analog zum Hausmüll)** kann angewendet werden, wenn für die Abholungen der Abholtag und die Standzeit zwischen zwei Abholungen bekannt sind. Dies wäre z. B. bei turnusmäßigen Abholungen oder bei Abholungen auf Abruf dann möglich, wenn die Abholdaten bei den Entsorgern nachvollziehbar zur Verfügung gestellt werden können. Bei dieser Vorgehensweise werden die Stichprobendaten zunächst auf einwohnerspezifische Wochenwerte standardisiert, auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft und auf Schichtebene hochgerechnet. Die hochgerechnete Sperrmüllmenge und stoffliche Zusammensetzung wird über die Verwiegungsdaten der örE-Mengen adjustiert. Für die Differenz wird dabei angenommen, dass diese der gewerblichen Sperrmüllmenge entspricht.
- b) **Die einfache Hochrechnung der Stoffzusammensetzung über die Sperrmüllmenge der örE** wird angewendet, wenn die Hochrechnung der Stichprobendaten je örE-Schicht in Methode a) aufgrund der fehlenden Standzeiten nicht möglich ist. Die Stichprobendaten werden analog zu Methode a) auf die örE-Schichten verteilt, können aber aufgrund des fehlenden Einwohnerbezugs nicht gewichtet hochgerechnet werden. Bei dieser Vorgehensweise wird die Sperrmüllmenge aus den Verwiegungsdaten der örE-Mengen und die Zusammensetzung aus den ungewichteten Stichprobendaten berechnet. Eine Abschätzung der gewerblichen Anteile des Sperrmülls ist bei Methode b) nicht möglich.

Im Bringsystem kann aufgrund der Schichtzugehörigkeit der Anlieferungen und der fehlenden Standzeiten keine Hochrechnung entlang der angeschlossenen Einwohner erfolgen und die Berechnungen können nur analog der Vorgehensweise in Methode b) vorgenommen werden.

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 Sortier- bzw. Sichtungsergebnisse im Regelfall notwendig:

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

- ▶ Die entsorgten Sperrmüllmengen der öRE aus den Abfallbilanzen der Länder
- ▶ Zeiträume zwischen den Sperrmüllabholungen (Standzeiten) bzw. der Bereitstellung des Sperrmülls (z. B. aus Ladestelleninformationen der Entsorger)

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)
- ▶ Durchschnittliche Entfernung der privaten Haushalte/ Kleingewerbebetriebe zum Wertstoffhof
- ▶ ...

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

### 5.2.1 Umrechnung volumenbezogener Daten auf massebezogene Daten

Für die Umrechnung der volumenbezogenen Sichtungsergebnisse werden die Schüttdichten für jede zu untersuchende Stoffgruppe benötigt. Die Schüttdichten je Stoffgruppe können von

- ▶ Sperrmüllsichtung aus zurückliegenden Untersuchungen, oder
- ▶ aus Eigenbestimmung der aktuellen Untersuchungsergebnisse stammen.

### 5.2.2 Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf öRE-Ebene im Holsystem

#### a) Die geschichtete Hochrechnung entlang der angeschlossenen Einwohner (analog zum Hausmüll)

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

#### 5.2.2.1 Standardisierung der Stichprobenergebnisse

Die an die Stichproben angeschlossenen Einwohner werden anhand ihrer Standzeiten auf eine einheitliche Bezugsgröße (Einwohner für Standzeit) 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 die Zeiträume zwischen zwei Sperrmüllabholungen auf eine Woche zu beziehen. Bei regelmäßigen Zeiträumen zwischen zwei Abholungen ist die Standzeit aller bereitgestellten (Sperrmüll) Stichprobeneinheiten in der Regel bekannt.

Bei unregelmäßigen Standzeiten (Sperrmüll auf Abholung) ist die Zeitspanne zwischen der letzten Abholung vor dem Kampagnenzeitraum und dem Abholtag zu verwenden.

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

$$\underline{ew}_j = ew_j \cdot \frac{t_j}{7} \quad \text{Gleichung 1}$$

$\underline{ew}_j$	standardisierte Einwohnerzahl der Stichprobeneinheit $j$
$ew_j$	Einwohnerzahl in der Stichprobeneinheit $j$ (SPE)
$t_j$	Standzeit der Stichprobeneinheit $j$ an der Ladestelle in Tagen
$j$	Laufindex für Stichprobeneinheiten
$n_j$	Anzahl der Stichprobeneinheiten (TPE)

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

### 5.2.2.2 Datenprüfung der Stichprobenergebnisse

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 5.2.2.4 Hochrechnung auf Gesamt (örE-Ebene)

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen der Kampagnenwerte erfolgt auf den Schätzwerten der örE-Schichten im Entsorgungsgebiet mit Gleichung 5. Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen der örE-Gesamtwerte erfolgt auf den Schätzwerten der Kampagnenwerte im Entsorgungsgebiet mit Gleichung 6. Der Gewichtungsfaktor wird für eine Kampagne mit  $GF_1 = 1$  definiert, für mehrere Kampagnen muss der Gewichtungsfaktor dem Untersuchungsziel angepasst werden.

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

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

$\hat{X}_{k,l}$	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 $l$ (Holsystem Methode a)
$k$	Laufindex für Kampagnen
$l$	Laufindex für die Stoffgruppen
$h_{\text{örE}}$	Laufindex für örE-Schichten
$n_{h_{\text{örE}}}$	Anzahl für 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 des Sperrmülls in Masse-% abgeleitet werden.

### b) Die einfache Hochrechnung der Stoffzusammensetzung über die Sperrmüllmenge der örE

Die Sperrmüllmenge wird über die Wochen- bzw. Jahresmengen der örE bestimmt und die stoffliche Zusammensetzung der Stoffgruppenwerte auf örE-Ebene wird je Schicht mit Gleichung 7 auf Kampagnen-Ebene und mit Gleichung 8 für die Stoffgruppen örE-Gesamt hochgerechnet. Die Definition des Gewichtungsfaktors kann aus Methode a übernommen werden.

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

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} GF_k \cdot \frac{365}{7} \cdot \hat{X}_{k,l} \quad (\text{Holsystem Methode b}) \quad \text{Gleichung 8}$$

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

### 5.2.3 Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf örE-Ebene im Bringsystem

Im Bringsystem ist zu beachten, dass die Sperrmüllanlieferungen an den Wertstoffhöfen oftmals auch Wertstoffe enthalten, die nicht dem Sperrmüll zuzuordnen sind (siehe Kapitel 4.1.2). Die Grundgesamtheit bezieht sich nur auf die tatsächliche Sperrmüllmenge.

Im Bringsystem werden die Stichprobenergebnisse analog zu den Berechnungen für das Holsystem nach Methode b) ermittelt. Die Sperrmüllmenge wird über die Wochen- bzw. Jahresmengen der örE bestimmt und die stoffliche Zusammensetzung der Stoffgruppenwerte auf örE-Ebene wird mit Gleichung 7 auf Kampagnen-Ebene und mit Gleichung 8 für die Stoffgruppen örE-Gesamt hochgerechnet.

Aus der Differenz der insgesamt je öRE erfassten Sperrmüllmenge und der aus Privathaushalten hochgerechneten Menge ergibt sich die an Wertstoffhöfe angelieferte gewerbliche Sperrmüllmenge.

#### **5.2.4 Zusammenführung der Hochrechnungsergebnisse aus dem Hol- und Bringsystem auf öRE-Ebene**

Die Berechnung der Gesamtmengen an Sperrmüll erfolgt über das gewichtete Mittel der Gesamtmassen des Hol- und Bringsystems, wie in Gleichung 9, dargestellt.

$$\hat{X}_l(\text{Gesamt}) = \hat{X}_l(\text{Hol (Methode a bzw. b)}) + \hat{X}_l(\text{Bring (wie Methode b)})$$

*Gleichung 9*

$\hat{X}_l(\text{Gesamt})$	<i>Schätzwert für den gesamten Schichtwert je Stoffgruppe l</i>
$\hat{X}_l(\text{Hol})$	<i>Schätzwert für die Masse im Holsystem je Stoffgruppe l</i>
$\hat{X}_l(\text{Bring})$	<i>Schätzwert für die Masse im Bringsystem je Stoffgruppe l</i>

## 6 Dokumentation und Ergebnisbericht (örE-Ebene)

In der Dokumentation sind die ausgewählten Untersuchungsgebiete kurz zu beschreiben, die Sperrmüllmenge und die Anzahl der Sperrmüll-Stichproben, jeweils für jede Kampagne, anzugeben.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 7 Qualitätssicherung (örE-Ebene)

Die ermittelten einwohnerspezifischen Abfallmengen können vom wahren Wert (bestimmt über die Wiegescheine an der Entsorgungsanlage im Kampagnenzeitraum) abweichen. Dies erklärt sich durch das Hochrechnungsverfahren, in dem die Abfallmengen aus privaten Haushalten hochgerechnet werden. Die Differenz zu den Verwiegungsmengen ist auf die in Sperrmüll enthaltenen gewerblichen Anteile zurückzuführen. Für die hochgerechnete Sperrmüllmenge aus privaten Haushalten ist eine Abweichung von 5 bis 10 % unterhalb der verwogenen Menge zu erwarten. Für die Plausibilisierung sollten die Abfallmengen der letzten 3 Jahre herangezogen werden.

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

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

Für eine einfache Varianzberechnung beschränken sich die statistischen Kennziffern auf die Berechnung der Varianz, des Variationskoeffizienten und des relativen Fehlers (Konfidenzintervalls). Das Einhalten des Unsicherheitsbereichs wird anhand eines Vergleichs des relativen Fehlers mit den gewünschten, zuvor festgelegten Genauigkeitsbereichen bei einer festgelegten Sicherheit bestimmt. Als erster Schritt hierfür muss die Berechnung des Schätzwertes  $\hat{x}$  einer Stichprobe durchgeführt werden, dies wird in Gleichung 10 abgebildet.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n \dot{x}_i) \cong \hat{X} \quad \text{Gleichung 10}$$

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

In Gleichung 11 wird eine Varianzberechnung auf Basis der Stichprobenwerte 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.

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad \text{Gleichung 11}$$

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

Gleichung 12 gibt die Formel wieder, um den Variationskoeffizient zu bestimmen, in Gleichung 13 wird der relative Fehler der Ergebnisse berechnet.

$$\text{varkoeff}(x_i) = \frac{\sqrt{\sigma_{\bar{x}}^2}}{\bar{x}} \quad \text{Gleichung 12}$$

*varkoeff*( $x_i$ ) *Variationskoeffizient der Einzelwerte*

$$\varepsilon_{x_i} = \text{varkoeff}(x_i) \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \quad \text{Gleichung 13}$$

$\varepsilon_{x_i}$                       *Relativer Fehler*

$\alpha$                          *Irrtumswahrscheinlichkeit*

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

- ▶ Siedlungsstruktur
- ▶ Allgemeine abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen des Untersuchungsgebietes (Gebührensysteem, Grobskizzierung der abfallwirtschaftlichen Erfassungssysteme)
- ▶ Gebäudestrukturdaten für die Planung der Schichten
- ▶ Entsorgungsstruktur (periodisch/ auf Abruf)

### 8.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten

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

#### 8.2.1 Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse)

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

#### 8.2.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf Bundesebene)

Auf Bundesebene wurden drei Schichten nach Siedlungsstruktur und zwei Schichten nach Sperrmüll-Erfassungssysteme als relevant identifiziert. Im Holsystem sind direkt kostenpflichtige Abholungen und Abholungen, mit begrenzter Anzahl, die in den

Hausmüllgebühren enthalten sind, zu unterscheiden. Das Bringsystem wird auf Bundesebene nur nach Siedlungsstrukturen differenziert. Daraus ergeben sich sechs Schichten auf Bundesebene. Insgesamt sollen zwölf öRE auf Deutschland-Ebene untersucht werden. Diese öRE werden entsprechend ihrer Schichtzugehörigkeit aus der Gesamtheit der 393 öRE zufällig ausgewählt (erste Auswahlstufe). Die ausgewählten zwölf öRE werden den sechs einzubeziehenden Schichten zugeteilt.

Zur Schichteinteilung sind drei wesentliche Methodiken der Sperrmüllsammlung für das Untersuchungsgebiet zu unterscheiden. Die festgelegten Schichten sind der Schichtungsmatrix für die Bundesebene in Tabelle 5 zu entnehmen.

**Tabelle 5: Matrix Schichtungskriterien auf Bundesebene**

Siedlungsstruktur	Sperrmüll-Erfassungssysteme	
Ländlich (<150 Ew/km <sup>2</sup> )	Abholung des Sperrmülls auf Abruf	gebührenpflichtig
		gebührenfrei
	Periodische Sperrmüllabfuhr	z. B. monatlich oder x-mal im Jahr
	Erfassung nur im Bringsystem	
Ländlich dicht (150 Ew/km <sup>2</sup> bis 750 Ew/km <sup>2</sup> )	Abholung des Sperrmülls auf Abruf	gebührenpflichtig
		gebührenfrei
	Periodische Sperrmüllabfuhr	z. B. monatlich oder x-mal im Jahr
	Erfassung nur im Bringsystem	
Städtisch/Großstädtisch (>750 Ew/km <sup>2</sup> )	Abholung des Sperrmülls auf Abruf	gebührenpflichtig
		gebührenfrei
	Periodische Sperrmüllabfuhr	z. B. monatlich oder x-mal im Jahr
	Erfassung nur im Bringsystem	

## **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). Abbildung 3 zeigt eine schematische Übersicht der Verteilung der Stichprobenanzahlen im Hol- und Bringsystem auf die Schichten und die Auswahlstufen.

### **8.2.3.2 Notwendiger Stichprobenumfang im Holsystem**

Der notwendige Stichprobenumfang wurde für die Gesamtuntersuchung auf örE-Ebene im Holsystem festgelegt (siehe Kapitel 3.2.3.2). Daraus ergeben sich auf Bundesebene 864 Stichproben die zu untersuchen sind. Die Genauigkeitsanforderung von  $\pm 10\%$  wird damit eingehalten.

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; FKZ 3723 31 103 1).

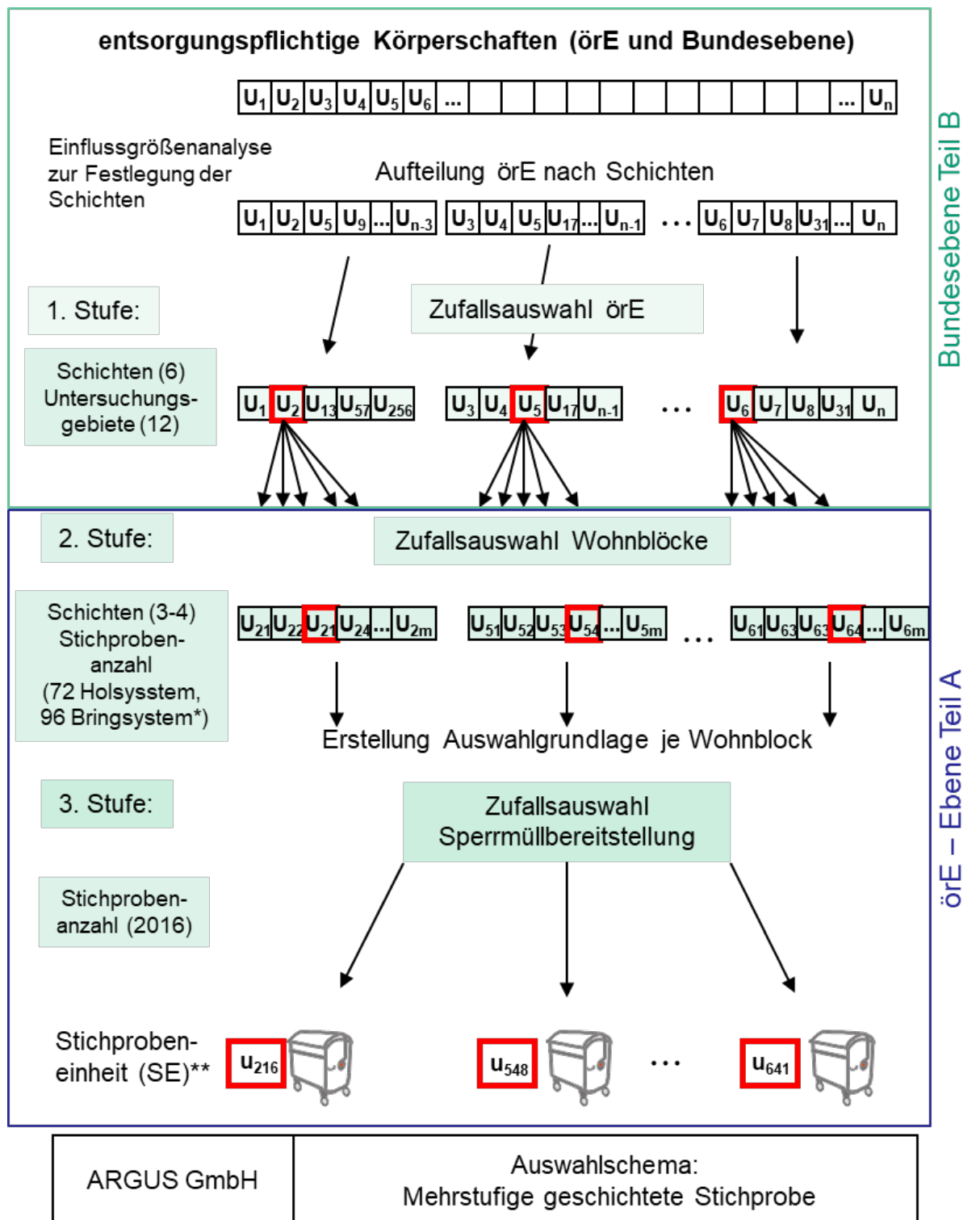
### **8.2.3.3 Notwendiger Stichprobenumfang im Bringsystem**

Der notwendige Stichprobenumfang wurde für die Gesamtuntersuchung auf örE-Ebene im Bringsystem festgelegt (siehe Kapitel 3.2.3.3). Daraus ergeben sich auf Bundesebene 1.152 Stichproben die zu untersuchen sind. Die Genauigkeitsanforderung von  $\pm 10\%$  wird damit eingehalten.

### **8.2.3.4 Auswahl der Stichprobeneinheiten im Hol- und Bringsystem auf Bundesebene**

Die zufällige Auswahl von Untersuchungsgebieten (örE) erfolgt auf Bundesebene nach Schichten (Ebene 1; Auswahlstufe 1). Für die Untersuchungen nach Hol- und Bringsystem werden dieselben Untersuchungsgebiete (örE) ausgewählt.

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



\*) Im Bringsystem keine Schichtung nach Wohnblöcken möglich

\*\*\*) Stichprobeneinheit ist Sperrmüllhaufen

Quelle: Eigene Darstellung, ARGUS

## 9 Auswertung und Hochrechnung (Bundesebene)

Aufgrund der Komplexität des Sperrmülls im Untersuchungsgebiet wird für die bundesweite Analyse ein mehrstufiges geschichtetes Auswahlverfahren angewendet (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 auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft und 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 9.1) und gemäß der Berechnungsformeln in Kapitel 5.2 und 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
- ▶ Allgemeine abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen des Untersuchungsgebietes (Gebührensensystem, Grobskizzierung der abfallwirtschaftlichen Erfassungssysteme) (Bundesebene)
- ▶ Standzeiten der Stichproben
- ▶ Entsorgungsstruktur im Holsystem: Periodisch/ auf Abruf (Bundesebene)

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)
- ▶ angebotene Wertstoffbehälter (Glas, Leichtverpackungen, Papier, Pappe, Kartonagen) oder Bioabfallbehälter
- ▶ Entfernung des Entsorgungsgebietes zum Wertstoffhof

### 9.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten

Die Hochrechnung der Stichprobenmassen (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 der Stichprobenergebnisse auf Deutschland (DE)-Ebene im Holsystem

Ähnlich der Datenerhebung auf Ebene der örE werden auch bei der bundesweiten Hochrechnung zwei methodische Ansätze unterschieden. Methode a beruht auf den an die

Entsorgung angeschlossenen Einwohnerzahlen. Methode b hingegen stützt sich auf die empirisch ermittelte stoffliche Zusammensetzung und überträgt diese Verteilung auf die Nettomasse der öRE. Beide Ansätze dienen dazu, belastbare Hochrechnungen für das gesamte Bundesgebiet abzuleiten, basieren jedoch auf unterschiedlichen Datengrundlagen und setzen jeweils spezifische Rahmenbedingungen voraus.

### a) Die geschichtete Hochrechnung entlang der angeschlossenen Einwohner (analog zum Hausmüll)

#### 9.2.2 Hochrechnung auf DE Schichten (Kampagnen und Gesamt)

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

##### 9.2.2.1 Hochrechnung auf Schichtebene DE

Die Ergebnisse der öRE-Untersuchungen sind nach den folgenden Schritten auf die jeweiligen bundesweiten Schichten (Deutschland Gesamt) und das Kalenderjahr hochzurechnen. Mit Gleichung 14 werden die Schichtergebnisse der öRE [t/(Wo)] auf die bundesweiten Schichtwerte hochgerechnet.

$$\hat{X}_{k,h_{DE},l} = \sum_{m=1}^{n_m} \sum_{h_{öRE}=1}^{n_{h_{öRE}}} \hat{X}_{k,h_{DE},m,h_{öRE},l} \quad (\text{Holsystem Methode a}) \quad \text{Gleichung 14}$$

$\hat{X}_{k,h_{DE},l}$  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

$m$  Laufindex für Primärstichproben

$h_{öRE}$  Laufindex für öRE-Schichten

$h_{DE}$  Laufindex für DE-Schichten

$l$  Laufindex für Stoffgruppen

$n_{h_{öRE}}$  Anzahl der öRE Schichten

$n_m$  Anzahl der Primärstichproben (zufällig ausgewählte öRE auf Bundesebene, die den Schichten auf Bundesebene zugeteilt werden)

##### 9.2.2.2 Hochrechnung auf Kampagnenebene und DE-Gesamt

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen je Kampagne erfolgt auf Basis der Schätzwerte der DE-Schichten nach Gleichung 15. Die ermittelten absoluten Abfallmengen je Kampagne sind auf den Gesamtwert für Deutschland im Betrachtungszeitraum im Kalenderjahr gemäß Gleichung 16 hochzurechnen. Der Wert für den Gewichtungsfaktor  $GF_k$  kann Kapitel 5.2.2.4 entnommen werden.

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{h_{DE}=1}^{n_{h_{DE}}} \frac{EW_{h_{DE}}}{ew_{h_{DE}}} \cdot \hat{X}_{k,h_{DE},l} \text{ (Holsystem Methode a)} \quad \text{Gleichung 15}$$

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} GF_k \cdot \frac{365}{7} \cdot \hat{X}_{k,l} \text{ (Holsystem Methode a)} \quad \text{Gleichung 16}$$

$\hat{X}_l$	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
$EW_{h_{DE}}$	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 5.2.2.4)
$\frac{365}{7}$	Hochrechnungsfaktor von Wochenwerte auf Jahreswerte

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

## b) Die einfache Hochrechnung der Stoffzusammensetzung über die Sperrmüllmenge der örE

### 9.2.3 Hochrechnung auf DE Schichten (Kampagnen und Gesamt)

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.

#### 9.2.3.1 Hochrechnung auf Schichtebene DE

Die Ergebnisse der örE-Untersuchungen sind nach den folgenden Schritten auf die jeweiligen bundesweiten Schichten (Deutschland Gesamt) und das Kalenderjahr hochzurechnen. Mit Gleichung 17 werden die Ergebnisse der örE [t/(Wo)] auf die bundesweiten Schichtwerte hochgerechnet.

$$\hat{X}_{k,h_{DE},l} = \sum_{m=1}^{N_m} X_{k,h_{DE},m} \cdot \frac{\hat{X}_{k,h_{DE},m,l}}{\hat{X}_{k,h_{DE},m}} \text{ (Holsystem Methode b)} \quad \text{Gleichung 17}$$

$\hat{X}_{k,h_{DE},l}$	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

### 9.2.3.2 Hochrechnung auf Kampagnenebene und DE-Gesamt

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen je Kampagne erfolgt auf Basis der Schätzwerte der DE-Schichten nach Gleichung 18. Die ermittelten absoluten Abfallmengen je Kampagne sind auf den Gesamtwert für Deutschland im Betrachtungszeitraum im Kalenderjahr gemäß Gleichung 19 hochzurechnen. Der Wert für den Gewichtungsfaktor  $GF_k$  kann Kapitel 5.2.2.4 entnommen werden.

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{h_{DE}=1}^{n_{h_{DE}}} \hat{X}_{k,h_{DE},l} \quad (\text{Holsystem Methode b}) \quad \text{Gleichung 18}$$

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} GF_k \cdot \frac{365}{7} \cdot \hat{X}_{k,l} \quad (\text{Holsystem Methode b}) \quad \text{Gleichung 19}$$

$\hat{X}_l$	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
$l$	Laufindex für Stoffgruppen
$n_k$	Anzahl der Kampagnen
$n_{h_{DE}}$	Anzahl der DE-Schichten
$GF_k$	Gewichtungsfaktor für jahreszeitliche Einflussfaktoren je Kampagne (siehe Kapitel 5.2.2.4)
$\frac{365}{7}$	Hochrechnungsfaktor von Wochenwerte auf Jahreswerte

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

### 9.2.4 Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf DE-Ebene im Bringsystem

Für die Hochrechnung im Bringsystem kommt exakt das gleiche Verfahren zum Einsatz wie in Methode b im Holsystem mit den Gleichungen 17, 18 und 19.

### 9.2.5 Zusammenführung der Hochrechnungsergebnisse aus dem Hol- und Bringsystem auf DE-Ebene

Die Berechnung der Gesamtmengen an Sperrmüll erfolgt über das gewichtete Mittel der Gesamtmassen des Hol- und Bringsystems, wie in Gleichung 20 dargestellt.

$$\hat{X}_l(\text{Gesamt}) = \hat{X}_l(\text{Hol (Methode a bzw. b)}) + \hat{X}_l(\text{Bring (wie Methode b)})$$

*Gleichung 20*

$\hat{X}_l(\text{Gesamt})$       Schätzwert für den gesamten Schichtwert je Stoffgruppe *l*

$\hat{X}_l(\text{Hol})$               Schätzwert für die Masse im Holsystem je Stoffgruppe *l*

$\hat{X}_l(\text{Bring})$             Schätzwert für die Masse im Bringsystem je Stoffgruppe *l*

## 10 Dokumentation und Ergebnisbericht (Bundesebene)

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

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

Des Weiteren wird im Anhang 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 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 gegeben. 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 <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Schicht 2 <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Schicht c <sup>1</sup> (Einheit) <sup>2</sup>	Gesamt (Einheit) <sup>2</sup>
1	1. Differenzierungsebene				
1-1	2. Differenzierungsebene				
1-2					
1-b					
2					
2-1					
2-2					
2-b					
a					
a-1					
a-2					
a-b					

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

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

**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-b				

## 11 Qualitätssicherung (Bundesebene)

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

## 12 Quellenverzeichnis

Biostoffverordnung (BioStoffV). Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2021). Arbeitsschutz in der Biostoffverordnung (BioStoffV). <https://www.bmas.de/DE/Service/Publikationen/Broschueren/a227-biostoffverordnung-2013-08.html> (abgerufen am 20.03.2025).

BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2017): Methodenentwicklung zur Bestimmung der Sortenreinheit von Bioabfällen.; HUK-Dateien, 1. Auflage Juni 2017. Verfasser: Intecus GmbH. [https://www.kompost.de/fileadmin/user\\_upload/Dateien/HUK-Dateien/2018/Q2\\_2018/Abschlussbericht-final.pdf](https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/HUK-Dateien/2018/Q2_2018/Abschlussbericht-final.pdf) (abgerufen am 20.03.2025).

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> (aufgerufen am 17.06.2024).

Europäische Kommission. Entscheidung 2005/270/EG der Kommission vom 22. März 2005 zur Festlegung der Tabellenformate für die Datenbank gemäß der Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 86, 5.04.2005.

Europäische Kommission. Delegierter Beschluss (EU) 2019/1597 der Kommission vom 3. Mai 2019 zur Ergänzung der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf eine gemeinsame Methodik und Mindestqualitätsanforderungen für die einheitliche Messung des Umfangs von Lebensmittelabfällen. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 248, 27.09.2019.

Europäische Kommission. Durchführungsverordnung (EU) 2023/595 der Kommission vom 16. März 2023 zur Festlegung des Formulars für die Übersicht über die auf nicht recycelten Verpackungsabfällen aus Kunststoff basierenden Eigenmittel gemäß der Verordnung (EU, Euratom) 2021/770 des Rates. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 78, 17.03.2023.

Europäisches Parlament und Rat. Verordnung (EU) 2023/1542 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 191, 28.07.2023, Art. 69 Abs. 5.

Rat der Europäischen Union. (2025): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle – Analyse des endgültigen Kompromisstextes mit Blick auf eine Einigung. Dokumenten-Nr. 6972/25 vom 13. März 2025. Nicht veröffentlicht. Nur in englischer Sprache verfügbar.

LfU RLP - Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz [Hrsg.] (2022): Richtlinie zur Analyse von Restabfall in Rheinland-Pfalz nach dem Stand der Technik 2022, Mainz.

LfULG - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft [Hrsg.] (2014): Richtlinie zur einheitlichen Abfallanalytik in Sachsen - Sächsische Sortierrichtlinie, Eigenverlag, Dresden.

Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz. (2023): 75. Jahrgang Nr. 12. Mainz. [231115 GAP-SP Ministerblatt Nr.12.pdf](#) (aufgerufen 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 Millimeter (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
- ▶ netzunabhängige Waage (Messgenauigkeit 100 g (Gramm))

### A.2 Personelle Voraussetzungen

- ▶ Sortierleiter mit Sortiererfahrung
- ▶ geschulte Sortierkräfte

### A.3 Arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen

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

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

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

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

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

- ▶ Eine geeignete Arbeitsschutzausrüstung für die mit der Abfalluntersuchung beauftragten Personen ist sicherzustellen. Sie umfasst den ganzen Körper bedeckende Arbeitsschutzbekleidung sowie schnittsichere, an der Oberseite diffusionsfähige Handschuhe, Atemschutz, Schutzschuhe und ggf. Kopfbedeckung, Schutzbrillen und Gehörschutz
- ▶ Zum Zwecke des Brandschutzes ist ein Handfeuerlöscher bereitzuhalten
- ▶ Eine Grundimmunisierung der Sortierkräfte auf Tetanus, Diphtherie, Hepatitis A und B sowie Poliomyelitis wird empfohlen
- ▶ Das Essen, Trinken und Rauchen ist im gesamten Arbeitsbereich zu untersagen

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