

TEXTE

57/2026

Teilbericht 2.6

Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme

Litteringabfälle

von:

Jörg Wagner, Jan Reichenbach, Marko Günther
INTECUS GmbH - Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management, Dresden

Dr. Bertram Zwisele,
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 2.6

Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme

Litteringabfälle

von

Jörg Wagner, Jan Reichenbach, Marko Günther
INTECUS GmbH - Abfallwirtschaft und umweltintegratives
Management, Dresden

Dr. Bertram Zwisele,
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 – Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management
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-8153>

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

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

Die Methodik zur Durchführung der Abfallanalysen umfasst die Probenahme, Sortierung und die statistische Hochrechnung der Ergebnisse. Ein mehrstufiges und geschichtetes Stichprobenverfahren wird eingesetzt, um repräsentative Daten zu gewinnen, die regionale, saisonale und strukturelle Unterschiede in der Abfallzusammensetzung berücksichtigen. Die Probenahme erfolgt direkt auf den Flächen der Sammlung von Litteringabfällen und wird durch eine detaillierte, händische Sortierung in verschiedene Stoffgruppen ergänzt. Besondere Anforderungen an die technische Durchführung und Qualitätssicherung werden berücksichtigt. Die Stichprobenergebnisse werden in Kampagnen auf UG-Ebene erfasst, analysiert und statistisch hochgerechnet. Ziel ist es, belastbare Daten zur Menge und stoffliche Zusammensetzung, die über die jeweiligen Entsorgungspfade anfallenden Abfälle der Entsorgungspfade zu erheben, die als Grundlage für die Erfüllung von Berichts- und Untersuchungspflichten, für das Monitoring sowie zur Optimierung 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 entering non-designated disposal pathways—specifically for littering waste—through precise measurements, thereby contributing to increased efficiency in material flow investigations. There is growing interest in the traceability of these streams in order to close data gaps between the quantities of waste 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 procedure is used to obtain representative data that reflects regional, seasonal, and settlement-structure-related differences in waste composition. Sampling is carried out directly at litter collection areas, followed by a detailed sorting process into different material groups. Special requirements regarding technical implementation and quality assurance are also taken into account. The sample results are collected, analyzed, and statistically extrapolated in campaigns at the level of investigation areas. The goal is to obtain accurate and reliable data on the quantity and material composition of waste generated along various disposal routes, which serves as a basis for fulfilling reporting and investigation obligations, for monitoring, and for improving recycling methods.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für Litteringabfälle.....	10
2 Untersuchungsgegenstand.....	12
Teil A: Methodenbeschreibung Litteringabfälle – Analyse für das Entsorgungsgebiet eines Untersuchungsgebietes.....	13
3 Untersuchungsplanung (UG-Ebene).....	14
3.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten).....	15
3.2 Abfalltypen.....	15
3.2.1 Litteringabfälle:.....	15
3.2.2 Kehrrecht Wege und Plätze:.....	15
3.3 Untersuchungsspezifische Planungsdaten auf UG-Ebene.....	16
3.3.1 Kampagnen (Jahreszeitliche Einflüsse).....	16
3.3.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflüssen auf UG-Ebene).....	16
3.3.3 Auswahl der Stichproben.....	16
3.3.3.1 Vorkommen der Abfalltypen.....	16
3.3.3.2 Definition der Stichprobeneinheiten.....	17
3.3.3.3 Notwendiger Stichprobenumfang.....	17
3.3.3.4 Auswahl der Stichprobeneinheiten.....	18
4 Durchführung.....	20
4.1 Stichprobenahme.....	20
4.1.1 Litteringabfälle.....	20
4.1.2 Straßenkehrrecht von Wegen und Plätzen.....	20
4.2 Siebung und Sortierung.....	20
4.3 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung.....	22
5 Auswertung und Hochrechnung (UG-Ebene).....	26
5.1 Allgemeine Daten für die Auswertung und Hochrechnung.....	26
5.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten und Kampagnen auf UG-Ebene.....	26
5.2.1.1 Standardisierung der Fläche je Stichprobeneinheit.....	26
5.2.2 Datenprüfung der Stichprobenergebnisse.....	27

5.2.3	Hochrechnung auf Schichten (UG-Ebene)	27
5.2.4	Hochrechnung auf Kampagnen und Gesamt (UG-Ebene)	28
6	Dokumentation und Ergebnisbericht (UG-Ebene)	29
7	Qualitätssicherung (UG-Ebene).....	31
Teil B: Methodenbeschreibung zur Zusammenführung und Hochrechnung der Abfallanalysen für Gesamt Deutschland		33
8	Untersuchungsplanung (Bundesebene).....	34
8.1	Untersuchungsspezifische Planungsdaten auf Bundesebene	34
8.1.1	Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse).....	34
8.1.2	Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf Bundes-Ebene).....	34
8.1.3	Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben).....	35
8.1.3.1	Definition der Stichprobeneinheiten.....	35
8.1.3.2	Notwendiger Stichprobenumfang	35
8.1.3.3	Auswahl der Stichprobeneinheiten	36
9	Auswertung und Hochrechnung (Bundesebene)	37
9.1	Allgemeine Daten zur Auswertung und Hochrechnung.....	37
9.2	Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten und Kampagnen.....	37
9.2.1	Hochrechnung auf DE Schichten (Kampagnen und Gesamt).....	37
9.2.1.1	Hochrechnung auf Schichtebene DE.....	37
9.2.1.2	Hochrechnung auf Kampagnenebene und DE-Gesamt	38
10	Dokumentation und Ergebnisbericht (Bundesebene).....	39
11	Qualitätssicherung (Bundesebene)	41
12	Quellenverzeichnis	42
Anlagen.....		43
A.1	Technische Voraussetzungen.....	43
A.2	Personelle Voraussetzungen.....	43
A.3	Arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl pro Kampagne – Litteringabfälle.....	19
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl pro Kampagne – Litteringabfälle.....	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Stoffgruppenkatalog Litteringabfälle für eine Standardanalyse	22
Tabelle 2:	Darstellung der Ergebnisse der UG nach Stoffgruppen und Schichten	29
Tabelle 3:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf UG-Ebene nach Stoffgruppen.....	30
Tabelle 4:	Darstellung der Ergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen und Schichten	39
Tabelle 5:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf Bundesebene	40

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
a	Jahr
Al	Aluminium
Adv	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
a. n. g.	anders nicht genannt
BioStoffV	Biostoffverordnung
DE	Deutschland
EAG	Elektro(nik)-Altgeräte
Ew	Einwohner
ew	Einwohner in der Stichprobeneinheit
EU	Europäische Union
Fe-Metall	Eisenmetall
GF	Gewichtungsfaktor
kg	Kilogramm
LMA	Lebensmittelabfälle
m³	Kubikmeter
Mg	Megagramm
mm	Millimeter
NE-Metall	Nicht-eisenhaltige Metalle
o. J.	ohne Jahr
PPK	Papier, Pappe, Karton
SP	Stichprobe
SPE	Stichprobeneinheit
t	Tonnen
UA	Untersuchungsareale
UBA	Umweltbundesamt
UG	Untersuchungsgebiet
Wo	Woche

1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für Litteringabfälle

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 EU-rechtliche Verpflichtungen 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, 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 werden Litteringabfälle als nicht-bestimmungsgemäßer Entsorgungspfad beschrieben. Für die Litteringabfälle wird ein Methodenkonzept entwickelt, welches die Art der Erhebung (Befragung vs. Analyse und Vollerhebung vs. Teilerhebung), die Stichprobenplanung, die Messpunkte, die Schichtungen, die Beschreibung der Befragungen/ Analysen, das Hochrechnungsverfahren auf verschiedenen Ebenen und die Belastbarkeit der Ergebnisse beschreibt. Bei der Ausgestaltung des Konzepts wird auf vorhandene Systematiken und Erfahrungen, beispielsweise aus vergleichbaren Analysen von Siedlungsrestabfällen, zurückgegriffen. Grundlage für das in der Methodik vorzusehende Messverfahren sind ein Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes (Jepsen et al., 2020) und die Sortierrichtlinien der Bundesländer, insbesondere die aktuellen Beschreibungen in den Sortierrichtlinien für Sachsen 2014 (LfULG, 2014) und Rheinland-Pfalz 2022 (LfU RIP, 2022; Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz, 2023).

Die Daten zu Aufkommen und Zusammensetzung von Litteringabfällen 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 Sortieranalysen sollen für alle relevanten Stoffströme so konzipiert (d. h. gebündelt) werden, dass die Ergebnisse für alle Stoffströme genutzt werden können und damit Synergien genutzt und die Bearbeitung möglichst effizient gestaltet werden kann.

Die vorliegende Methodenbeschreibung ist in zwei Teile,

- A) Abfallanalysen für Untersuchungsgebiete und

¹ 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 Litteringabfälle wird in **Teil A** (Kapitel 3 bis 7) die Bestimmung der Menge und der Zusammensetzung der Abfälle auf Ebene der Untersuchungsgebiete 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.

Litteringabfälle sind achtlos im öffentlichen Raum (insbesondere Grünflächen, Wege, Plätze etc.) weggeworfene Abfälle. Diese Abfälle werden durch Kommunen oder beauftragte Dritte je nach Aufkommen kampagnenartig händisch oder mit Kehrmaschinen gesammelt.

Für diese Abfälle existiert keine statistisch gesicherte Angabe der jährlich anfallenden Mengen.² Die Mengen müssen durch eine bundesweite Befragung der Kommunen und eine entsprechende Hochrechnung auf das Bundesgebiet erhoben werden.

Die Ermittlung der stofflichen Zusammensetzung der Litteringabfälle erfolgt durch die Sortieranalysen der zufällig ausgewählten Stichproben.

² Da innerhalb der UBA-Publikation „Erarbeitung eines Kostenmodells für die Umsetzung von Artikel 8 Absatz 2 und 3 der EU-Einwegkunststoffrichtlinie“ von 2022 lediglich bestimmte Einwegkunststoffprodukte untersucht wurden und sonstige Abfälle nicht differenziert wurden, können diese Daten nicht zur Herleitung des gesamten Abfallstroms von Kunststoffverpackungen genutzt werden.

Teil A:

Methodenbeschreibung Litteringabfälle – Analyse für das Entsorgungsgebiet eines Untersuchungsgebietes

3 Untersuchungsplanung (UG-Ebene)

Die Planung der Untersuchung umfasst neben organisatorischen und logistischen Aspekten im Wesentlichen die Entwicklung des Stichprobenkonzeptes. Dazu gehören die Festlegung der relevanten Einflussgrößen sowie die Festlegung des erforderlichen Stichprobenumfangs. Der finale Planungsschritt vor der praktischen Durchführung ist die mehrstufig geschichtete Auswahl von Stichprobeneinheiten sowie die Festlegung der Beprobungspunkte und -zeiträume.

Die Reinigung öffentlicher Flächen von Litteringabfällen findet vor allem in urbanen Räumen statt. Im Regelfall wächst sie mit der Zunahme stadttypischer Strukturen wie geschlossenen Bebauungen, Haltestellenanlagen des Verkehrs, Geschäfts- und Fußgängerstraßen, der Präsenz von Parkanlagen, Sport- und Eventstätten. In ihrer Gesamtprägung sind sich Groß- und mittelgroße Städte diesbezüglich gegenüber Kleinstädten wahrscheinlich ähnlicher und weisen vergleichbarere Strukturanteile auf.

Dagegen verfügen ländlichere Gebiete und Landschaftsräume aufgrund geringerer Litteringintensität üblicherweise über vermutlich eher geringer ausgeprägte Reinigungsaktivitäten.³ Bestenfalls an Stellen besonderer touristischer Attraktivität sind hier größere Aktivitäten zu erwarten. Bundesweit betrachtet stehen diese zu den Stadtlflächen aber in einem eher unbedeutenden/vernachlässigbaren Verhältnis. Der Litteringproblematik kommt im ländlich geprägten Raum aus Sicht der gesammelten Mengen und Zusammensetzung von Abfällen daher eine geringe Relevanz zu.

Zur Analyse von Litteringabfällen ist den vorgenannten Umständen insoweit Rechnung zu tragen, dass die Durchführung insbesondere auf Stadtgebiete konzentriert werden sollte. Nicht zuletzt wird hierdurch auch die erforderliche Effizienz für die Analyse gesichert. Ein Stadtgebiet ist insofern gleichzusetzen mit einem Untersuchungsgebiet (UG). Wie angedeutet, lässt sich bezüglich des Litterings eine Stadt allerdings nicht pauschal, d. h. als homogen betrachten. Stattdessen existieren Bereiche mit verschiedenartigen Nutzungsstrukturen und sich folglich auch erheblich unterscheidenden Gruppierungen und Frequentierungszahlen an Personen sowie Aktivitäten. Diese Unterschiede bzw. Einflussfaktoren müssen in der Analyse Berücksichtigung finden und das UG daher in Gebiete (Flächennutzungstypen) ähnlicher Ausprägung unterteilt (bzw. geschichtet) werden. Die typischen zu betrachtenden Flächennutzungstypen sind:

- ▶ Weg
- ▶ Platz
- ▶ Grünanlage
- ▶ Straßenverkehr

Über die Schichtung wird nicht nur die Repräsentativität der Analyse garantiert, sie bildet auch die Grundlage, um die Einzelergebnisse proportional auf das Gesamtuntersuchungsgebiet übertragen und daraus eine Hochrechnung für die durchschnittliche Gesamtsituation des Litterings vornehmen zu können.

Die Stichprobenahme erfolgt auf Teilflächen der unterschiedlichen Nutzungstypen, die nachfolgend aus Untersuchungsareale (UA) bezeichnet werden.

³ Unbetrachtet, da aufgrund der Fragestellung irrelevant, bleiben hierbei die Kosten der in ländlichen Gebieten durchgeführten Reinigungsaktivitäten.

3.1 Allgemeine Planungsdaten (Rahmendaten)

Die erforderlichen Daten und Unterlagen für die Untersuchungsplanung, soweit verfügbar und von aktuellen Datenschutzbestimmungen erlaubt, sind mit Unterstützung der jeweiligen UG zusammen zu stellen.

Für die Planung werden folgende Rahmendaten im Regelfall benötigt:

- ▶ allgemeine strukturelle Ausprägung des UG für die Auswahl von Flächennutzungstypen (Schichten)
- ▶ Anzahl der Kampagnen bzw. Zyklen zur Sammlung von Litteringabfällen für die einzelnen Flächennutzungstypen pro Jahr
- ▶ Fläche der einzelnen UA [m²]
- ▶ Gesamtaufkommen der Litteringabfälle im UG pro Jahr [t/a]
- ▶ Flächennutzungsstatistik (Flächen für Grünanlagen, Straßenverkehr, Wege, Plätze) (Statistische Landesämter, o. J.)
- ▶ Informationen über Besonderheiten (bspw. Flächen mit Konzentration bestimmter Freizeitaktivitäten, zum Grillen genutzte Grünflächen, Open-Air-Partys etc.)

3.2 Abfalltypen

Litteringabfälle können in folgende Typen unterschieden werden, die für eine Untersuchung ihrer Zusammensetzung Relevanz haben:

- ▶ Litteringabfälle „Weg“, „Platz“ und „Grünanlage“
- ▶ Straßenkehricht „Straßenverkehr“, „Weg“ und „Platz“

3.2.1 Litteringabfälle:

Litteringabfälle beinhalten alle mit Zange oder händisch aufgelesenen Abfälle. Wird bereits während der Sammlung oder auf dem Betriebshof eine Abtrennung ausgewählter Wertstoffe, z. B. Glasverpackungen, durchgeführt, sind diese Mengen zu dokumentieren und bei der Ermittlung der Zusammensetzung zu berücksichtigen.

3.2.2 Kehricht Wege und Plätze:

Die Sammlung des Kehrichts kann auch gemischt erfolgen, indem gesammelte Litteringabfälle zusammengetragen und durch die Kehrmaschinen aufgenommen werden.

Wege und Plätze werden oft sowohl händisch als auch mittels Kehrmaschine gereinigt, so dass auf diesen Flächen beide Abfalltypen anfallen können und bei der Analyse entsprechend zu berücksichtigen sind.

Kehricht von Straßen wird aufgrund des geringen Kunststoffanteils von ca. 1 % als massespezifisch irrelevant für die Untersuchung eingeschätzt und bei der Untersuchung nicht weiter berücksichtigt.

3.3 Untersuchungsspezifische Planungsdaten auf UG-Ebene

3.3.1 Kampagnen (Jahreszeitliche Einflüsse)

Grundsätzlich sind jahreszeitliche Einflüsse, welche insbesondere unterschiedliche Nutzungsintensitäten öffentlicher Wege, Plätze und Flächen bedingen, zu erwarten. Es ist zu vermuten, dass bei kalten und nassen Witterungsbedingungen die Nutzungsintensität abnimmt und demzufolge weniger Abfälle weggeworfen werden.

Die Zusammensetzung des Straßenkehrrechts ist jahreszeitlich insbesondere durch den herbstlichen Laubfall und den Streusplit bei winterlichen Straßenverhältnissen bedingt.

Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, die Sortieranalyse in drei Kampagnen (Sommer, Winter, Frühjahr bzw. Herbst) durchzuführen.

3.3.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflüssen auf UG-Ebene)

Ein weiterer wesentlicher Einfluss liegt in der Bebauungs- bzw. hier konkreter der Flächennutzungsstruktur der UG. Für die spätere Hochrechnung auf das Bundesgebiet ist es erforderlich, hier auf verfügbare flächenstatistische Daten zurückgreifen zu können. Hier ist die „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung“ (Statistische Landesämter, o. J.) heranzuziehen. Diese weist auf Gemeindeebene für ganz Deutschland 32 Nutzungsarten des AdV-Nutzungsartenkatalogs 2009 aus, von denen folgende für Litteringabfälle von Interesse sind:

- ▶ Siedlung (ADV09-1)
 - Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche (ADV09-18)
 - Grünanlage (ADV09-184)
- ▶ Verkehr (ADV09-2)
 - Weg (ADV09-22)
 - Platz (ADV09-23)

Die Flächennutzungskategorien Grünanlage, Weg und Platz sollten auch Schwerpunkte der Untersuchungen sein, da hier auch der Schwerpunkt des Littering zu sehen ist. Straßenkehrrecht von Flächen des Straßenverkehrs (ADV09-21) weist bspw. überwiegend eine mineralische-organische Zusammensetzung bestehend aus Streusplit und Laub auf, Litteringabfälle kommen hier nur untergeordnet vor. Aus diesem Grund wird diese Flächennutzungskategorie als vernachlässigbar eingestuft.

Die Gesamtdaten für Deutschland können auf DESTATIS (Tabelle 33111-0005, o.J.) abgerufen werden.

3.3.3 Auswahl der Stichproben

3.3.3.1 Vorkommen der Abfalltypen

Wie im Kapitel 3.2 erläutert, können folgende sechs Abfalltypen unterschieden werden:

- ▶ Litteringabfälle „Weg“, „Platz“ und „Grünanlage“
- ▶ Straßenkehrrecht „Straßenverkehr“, „Weg“ und „Platz“

Da Straßenkehricht „Straßenverkehr“ nicht untersucht werden sollte, verbleiben fünf potenziell zu untersuchende Abfalltypen. Grundsätzlich sollten UG ausgewählt werden, in denen möglichst viele dieser Abfalltypen vorkommen. Folgende Kombinationen an Abfalltypen sind pro Flächennutzungstyp je nach Art und Weise der Flächenreinigung möglich:

- ▶ Grünanlage: Litteringabfälle
- ▶ Weg: Litteringabfälle und bzw. oder Straßenkehricht
- ▶ Platz: Litteringabfälle und bzw. oder Straßenkehricht

In einem UG sind also zwischen drei und fünf Abfalltypen vorzufinden.

3.3.3.2 Definition der Stichprobeneinheiten

Eine Stichprobeneinheit setzt sich aus 8 x 120 Liter Mülltüten zusammen. Die Teilstichprobengröße von 120 Liter hat sich insoweit bewährt, da die Sammlung ohnehin meist in Mülltüten erfolgt und diese ohne weitere technische Hilfsmittel zum Sortierplatz transportiert werden können. Sollten die Stichprobenmengen auf einem UA nicht erreicht werden, können mehrere Flächen gleicher Kategorie zu einem UA zusammengefasst 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; FKZ 3723 31 103 1).

Für den wesentlich kleinteiligeren Kehrrecht werden 10 Liter als Stichprobengröße festgelegt.

3.3.3.3 Notwendiger Stichprobenumfang

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

Für jede Sortieranalyse auf UG-Ebene müssen somit insgesamt mindestens 24 Stichprobeneinheiten untersucht werden, das heißt 72 Sekundär-Stichprobeneinheiten bei drei Kampagnen. Um die Mindestanforderungen zu erfüllen, müssen drei zeitlich versetzte Kampagnen durchgeführt werden, bei denen drei Schichten mit insgesamt je acht Primär-Stichprobeneinheiten (insgesamt 576 SPE für die gesamte Untersuchung auf Bundesebene) berücksichtigt werden. Durch Einhaltung dieser Mindestanforderungen und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\pm 5\%$ kann eine maximale Zufallsabweichung von $\pm 10\%$ für die Gesamtmenge auf UG-Ebene sowie für die mengenmäßig relevanten Stoffgruppen gewährleistet 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; FKZ 3723 31 103 1).

3.3.3.4 Auswahl der Stichprobeneinheiten

Aus den Rahmendaten des Untersuchungsgebietes in Kapitel 3.1 ist eine Auswahl an Flächen für die Stichprobenahme zu erstellen.

Die Stichprobenauswahl erfolgt geschichtet und mehrstufig in folgenden Schritten:

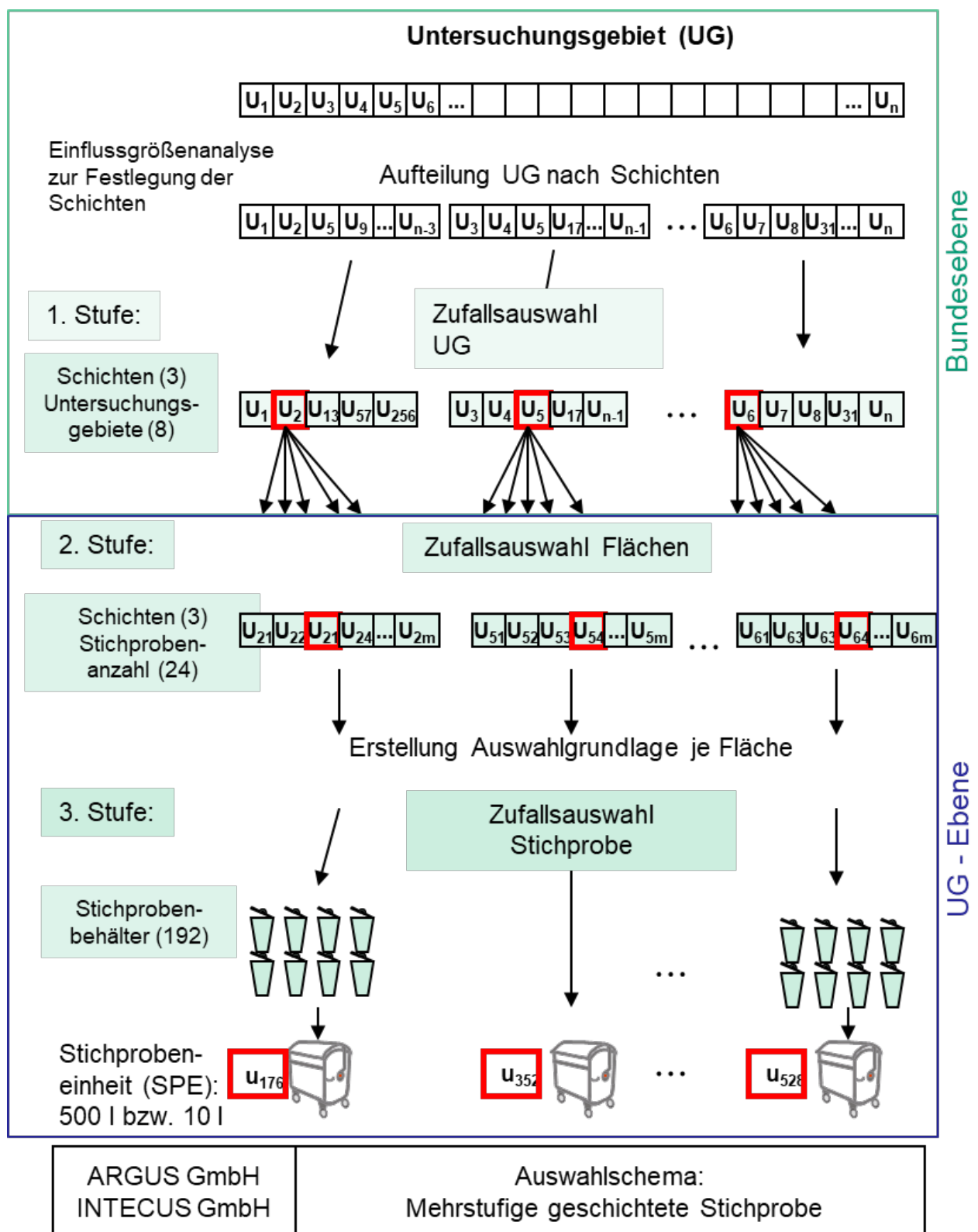
- ▶ Zufällige Auswahl von Untersuchungsgebieten (UG) nach Schichten auf Bundesebene (Ebene 1; Auswahlstufe 1); nur für die Auswahl auf Bundesebene erforderlich
- ▶ Zufällige Auswahl von Untersuchungs-Teilgebieten (Flächennutzungstypen (Grünflächen, Wege, Plätze)) nach Schichten auf UG-Ebene aus jedem Untersuchungsgebiet (UG) (Ebene 2; Auswahlstufe 2)
- ▶ Zufällige Auswahl von Stichproben mit einem Gesamtvolumen von 500 Liter (Litteringabfälle) bzw. 10 Liter (Straßenkehrschicht) aus den zufällig ausgewählten Untersuchungs-Teilgebieten (Ebene 2; Auswahlstufe 3)

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

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

Abbildung 1 zeigt eine schematische Übersicht der Verteilung der Stichprobenanzahlen auf die Schichten und die Auswahlstufen.

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Zufallsauswahl für das geschichtete 3-stufige Modell der Zufallsauswahl pro Kampagne – Litteringabfälle



Quelle: Eigene Abbildung, ARGUS

4 Durchführung

Zur Durchführung gehören die Stichprobenahme und die Sortierung der Litteringabfälle. Die technischen und arbeitsschutzbezogenen Voraussetzungen für die praktische Durchführung einer Sortieranalyse sind in den Anlagen A.1 und A.3 aufgelistet.

4.1 Stichprobenahme

4.1.1 Litteringabfälle

Die Sammlung der benötigten Probenmenge ist sehr zeitintensiv. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Sammlung im Rahmen der normalen Planung der Kommunen und in deren Regie erfolgt. Die Probensammlung erfolgt dann fortlaufend bis zum Erreichen des Probenvolumens. Ist mit einem Sammelvolumen in Höhe des Probenvolumens oder weniger zu rechnen, wird das Sammelvolumen zum Probenvolumen.

Bei der Sammlung der Litteringabfälle ist taggenau zu dokumentieren, welche Flächen gereinigt und welche Masse gesammelt wurde. Die Flächengröße ist zu dokumentieren. Die zur Sammlung verwendeten Säcke sind mit Datum zu beschriften und vollständig an einem sicheren Ort, in der Regel auf dem Betriebshof der jeweiligen Kommune, zu lagern. Die Probensammlung endet, wenn das erforderliche Probenvolumen erreicht ist.

Litteringabfall beinhaltet alle mit Zange oder händisch aufgelesenen Abfälle. Führt die Kommune bereits während der Sammlung oder auf dem Betriebshof eine Abtrennung ausgewählter Wertstoffe, z. B. Glasverpackungen, durch, sind diese Mengen zu täglich zu verwiegen und bei der Ermittlung der Zusammensetzung zu berücksichtigen.

Idealerweise ist das gelagerte Sammelvolumen des Probenvolumen. Übersteigt das Sammelvolumen das Probenvolumen, wird nach Reihenfolge der Sammlung das Probenvolumen ausgewählt. Wird das Sammelvolumen eines Tages nur anteilig zum Probenvolumen, ist die nicht berücksichtigte Menge ebenfalls zu verwiegen.

4.1.2 Straßenkehricht von Wegen und Plätzen

Kehrlicht wird in der Regel mehrmals jährlich gemischt mittels Kehrmaschine gesammelt.

Für die Probenahme sind Wege und Plätze jeweils getrennt zu beproben.

Bereits bei der Sammlung ist möglichst auf den Einsatz von Wasser zu verzichten.

Die Beprobung des Kehrlichts erfolgt, sofern die Sammelmenge größer als die Probenmenge ist, je nach Größe der Sammelmenge gemäß LAGA PN 98 nach dem Schürfschlitzverfahren oder durch (mehrfache) Probenviertelung.

Vor der Sortierung sind die SPE soweit zu trocknen, dass die Probe rieselfähig ist. Dies kann durch Ausbreiten oder im Ofen erfolgen.

4.2 Siebung und Sortierung

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der Abfälle erfolgt durch händische Sortierung nach Stoffgruppen für jede Schicht. Die Siebung erfolgt durch Flach- oder Trommelsiebe. Die Siebung und Sortierung der Abfälle muss von geschultem Personal unter Aufsicht eines erfahrenen Sortierleiters durchgeführt werden. Die Abfälle sind vor der Sortierung bei 10 mm und 40 mm zu sieben. Hierfür 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.

Aus der Fraktion > 10 bis 40 mm wird gemäß den Richtlinien der LAGA PN 98 (MfUF RIP, 2001) eine repräsentative Teilmenge zur Sortierung ausgewählt. Pro Stichprobeneinheit sind mindestens 5 Liter je Stichprobeneinheit zu entnehmen.

Eine Sortierung der Fraktion ≤ 10 mm ist nicht erforderlich. Die Fraktion > 40 mm sowie eine Teilmenge der Fraktion > 10 bis 40 mm werden manuell sortiert, um die Abfallzusammensetzung zu bestimmen.

Für die Sortiertiefe gelten folgende Anforderungen:

Die Teilmenge der Fraktion > 10 bis 40 mm ist nach der ersten Differenzierungsebene (1 bis 12 Hauptstoffgruppen) des Stoffgruppenkatalogs zu sortieren. Die Fraktion > 40 mm ist nach allen Stoffgruppen einer Standardanalyse desselben Katalogs zu sortieren.

Folgende Massen sind anhand einer Wiegung für eine Stichprobeneinheit (ca. 1 m^3) für die folgende Auswertung gemäß Kapitel zu ermitteln und zu dokumentieren:

- ▶ Masse Stichprobeneinheit vor Siebung
- ▶ 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:
 - Gesamtmasse nach Siebung
 - 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.

Optional: Analyse der Feinfraktion (≤ 10 mm)

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass der Organikanteil der Fraktion ≤ 10 mm zwischen 40 und 60 % beträgt. Bei der Darstellung des Organikanteils in den Ergebnissen (siehe Kapitel 6) besteht die Möglichkeit entweder einen standardisierten Wert von 50 % anzusetzen oder diesen anhand einer chemischen Analyse exakt zu bestimmen. Für eine chemische Analyse ist eine Beprobung der Feinfraktion nach den Bestimmungen der LAGA PN 98 (MfUF RIP, 2001) und im Labor das Verfahren der Glühverlustbestimmung anzuwenden.

Zur chemischen Analyse wird die Feinfraktion (≤ 10 mm) für jede Kampagne und Schicht sorgfältig gemischt und homogenisiert. Anschließend wird eine repräsentative Teilmenge von 100 bis 200 Gramm entnommen. Diese Probe wird im Labor getrocknet und gesiebt.

Fremdpartikel, die größer als 1 mm sind, werden gegebenenfalls vor der chemischen Analyse mithilfe von Pinzetten und Lupen entfernt.

Der ermittelte Glühverlust der Fraktion ≤ 10 mm ist zusätzlich zu den Angaben gemäß Anhang A.1 anzugeben.

4.3 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung

Bei der manuellen Sortierung sind die Abfälle der unten tabellierten Stoffgruppen zuzuordnen und die Massen bzw. Massenanteile anhand einer Verwiegung zu dokumentieren.

In Tabelle 1 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 1: Stoffgruppenkatalog Litteringabfälle für eine Standardanalyse

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
1	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	NE-Metalle	NE-Metall-Verpackungen, sonstige NE-Metall-Gegenstände
2-1	NE-Verpackungen	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	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
3-3	Sonstige PPK	Papiermöbel, Stehsammler, Pappordner, Geschenkpapier

Differenzierungs-ebene*	Stoffgruppe	Beispiele
4	Kunststoffe	Kunststoffverpackungen, sonstige Kunststoffe
4-1	Kunststoffverpackungen	Becher, Blister, Flaschen, Schalen, Verpackungstüten, Folien
4-2	Sonstige Kunststoffe	Sonstige Kunststoffe - starr und flexibel
5	Glas	Glasverpackungen, sonstiges Glas
5-1	Glasverpackungen (einschl. Verbund)	Flaschen, Konservengläser
5-2	Sonstige Glas	Gebrauchsgegenstände aus Glas, Trinkgläser, Flachglas
6	Bioabfälle	Küchen- und Nahrungsabfälle
6-1	LMA	LMA verpackt/unverpackt
6-1-1	LMA (unverpackt oder entpackt)	unverpackte Küchen- und Nahrungsabfälle
6-1-2	Lebensmittel (verpackt)	gefüllte/nicht restentleerte Lebensmittelverpackungen, volle Getränkebehältnisse, volle Konservendosen
6-2	Gartenabfälle	Laub, Rasenschnitt, Strauchwerk, Äste, Wurzelwerk, Topfpflanzen, Schnittblumen
6-3	Sonstige Organik	Kleintierstreu aus Holz, Hanfseile, Haare, Tierkadaver
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
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	Zigarettschachteln, 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. Tiernahrung), jeweils mit Al-Schicht

Differenzierungs-ebene*	Stoffgruppe	Beispiele
8-2	Elektro(nik)altgeräte	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
10-1	Altbatterien	Batterien, Akkus
10-2	Sonstige Schadstoffe	Altmedikamente, Altchemikalien, altöhlhaltige 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 a. n. g.

*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, die sich aus verschiedenen relativ leicht lösbaren Bestandteilen zusammensetzen, wie z. B. Gebäck- und Pralinenschachteln, 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 überwiegender 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 (UG-Ebene)

5.1 Allgemeine Daten für die Auswertung und Hochrechnung

Die Hochrechnung erfolgt auf Basis der Daten der Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung. Die ermittelten Zusammensetzungen werden anhand der Verteilung der Flächen auf die Kommune hochgerechnet.

Dafür sind folgende Daten zu erfassen:

- ▶ Flächen, die von den untersuchten Untersuchungsgebieten (UG) regelmäßig gereinigt werden, unterteilt in Weg, Platz und Grünfläche, mit Flächengröße [m²] und Reinigungsintervall
- ▶ Gesamtmenge des jährlich eingesammelten Straßenkehrrechts von Wegen und Plätzen (sofern getrennt erfasst) und der von Grünflächen gesammelten Litteringabfälle [Mg] (sofern keine Daten vorliegen, müssen diese geschätzt werden)

5.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten und Kampagnen auf UG-Ebene

Die Hochrechnung der Stichprobenmassen (in kg je Stichprobeneinheit) auf die Grundgesamtheit (Gesamtmassen in Tonnen je Jahr, in flächenspezifischen Massen in Kilogramm je Fläche und 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 UG-Ebene vereinfachend zusammengefasst. Für die Ebene 1 werden die UG-Ergebnisse auf Bundesergebnisse hochgerechnet.

5.2.1.1 Standardisierung der Fläche je Stichprobeneinheit

Die an die Stichproben angeschlossenen Flächen werden bezüglich ihrer Standzeiten auf eine einheitliche Bezugsgröße (Fläche 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 Fläche je Stichprobeneinheit sind im ersten Schritt die Behälterstandzeiten auf eine Woche zu beziehen.

Mit Gleichung 1 wird die standardisierte Fläche [n*Wo] für jede Stichprobeneinheit j ermittelt.

$$\underline{f}l_j = \dot{f}l_j \cdot \frac{\dot{t}_j}{7} \qquad \text{Gleichung 1}$$

$\underline{f}l_j$	standardisierte Fläche der Stichprobeneinheit j
$\dot{f}l_j$	Fläche der Stichprobeneinheit j
\dot{t}_j	Standzeit der Teilstichprobenbehälter j an der Ladestelle in Tagen
j	Laufindex für Stichprobeneinheiten

Die gesamte standardisierte Fläche je UG-Schicht wird dann über die Gleichung 2 berechnet.

$$fl_{h_{UG}} = \sum_{j=1}^{n_j} \underline{fl}_j \quad \text{Gleichung 2}$$

$fl_{h_{UG}}$ Summe der standardisierten Fläche je UG-Schicht

n_j Anzahl der Stichprobeneinheiten je UG- Schicht

Die Standardisierung der Flächen in der Grundgesamtheit muss analog zur Standardisierung der Flächen in der Stichprobe erfolgen, um eine konsistente Vergleichbarkeit sicherzustellen.

5.2.2 Datenprüfung der Stichprobenergebnisse

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.

5.2.3 Hochrechnung auf Schichten (UG-Ebene)

Die Ergebnisse der Stichprobenergebnisse ($\hat{x}_{k,h_{UG},j,l}$) in kg sind für das jeweilige Entsorgungsgebiet und das Kalenderjahr auf Schichtwerte des UG mit Gleichung 3 hochzurechnen.

$$\hat{X}_{k,h_{UG},l} = \frac{FL_{h_{UG}}}{fl_{h_{UG}}} \cdot \sum_{j=1}^{n_j} \hat{x}_{k,h_{UG},j,l} \quad \text{Gleichung 3}$$

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

$\hat{x}_{k,h_{UG},j,l}$ Stichprobenmasse je Kampagne k , Schicht h_{UG} , Stichprobeneinheit j und Stoffgruppe l

$FL_{h_{UG}}$ Fläche je Schicht h_{UG} in der Grundgesamtheit

$fl_{h_{UG}}$ Fläche je Schicht h_{UG} in der Stichprobe

k Laufindex für Kampagnen

j Laufindex für Stichprobeneinheiten

h_{UG} Laufindex für die UG-Schichten

l Laufindex für Stoffgruppen

n_j Anzahl der Stichprobeneinheiten

Die Fläche der jeweiligen Schicht (Grünfläche, Platz, Weg) ist der Flächennutzungsstatistik (Flächen für Grünanlagen, Straßenverkehr, Wege, Plätze)⁴ für das jeweilige UG zu entnehmen.

5.2.4 Hochrechnung auf Kampagnen und Gesamt (UG-Ebene)

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen je Kampagne erfolgt auf den Schätzwerten der Schichten im UG mit Gleichung .

Die ermittelten absoluten Abfallmengen je Kampagne sind auf den Gesamtwert je UG auf den Betrachtungszeitraum im Kalenderjahr mit folgendem Gewichtungsfaktoren (GF_k) gemäß Gleichungen 4 und 5 hochzurechnen:

► Frühling, Herbst: 50 %

► Sommer: 25 %

► Winter: 25 %

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{h_{UG}=1}^{n_{h_{UG}}} \hat{X}_{k,h_{UG},l} \quad \text{Gleichung 4}$$

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} \frac{365}{7} \cdot GF_k \cdot \hat{X}_{k,l} \quad \text{Gleichung 5}$$

$\hat{X}_{k,l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne k und Stoffgruppe l
$\hat{X}_{k,h_{UG},l}$	Schätzwert für die Masse je Kampagne k , Schicht h_{UG} und Stoffgruppe l
\hat{X}_l	Schätzwert für die Masse je Stoffgruppe l
k	Laufindex für Kampagnen
l	Laufindex für die Stoffgruppen
h_{UG}	Laufindex für UG-Schichten
$n_{h_{UG}}$	Anzahl der UG-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 der flächenspezifischen Abfallmenge in Tonnen pro Jahr (t/a) beziehungsweise der Jahresdurchschnittswert der einwohnerspezifischen Abfallmenge in Kilogramm pro m² und Jahr (kg/m²*a) vor. Hieraus kann die prozentuale Zusammensetzung der Litteringabfälle in Masse-% abgeleitet werden.

⁴ Flächen nach Art der tatsächlichen Nutzung nach Gemeinden, für die Ebene der Gemeinden zu beziehen über das jeweilig zuständige Statistische Landesamt.

6 Dokumentation und Ergebnisbericht (UG-Ebene)

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

Im Anhang des Ergebnisberichtssind die aus der Sortierung erhaltenen Ergebnisse für jede Kampagne prozentual (Masse-%), flächenspezifisch ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{Wo})$) und gesamt (kg/Wo) zu hinterlegen.

Die Ergebnisse der Hochrechnung auf die UG-Schichten sind sowohl prozentual (Masse-%), flächenspezifisch ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) als auch gesamt (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 2 gezeigt. Werden weitere Differenzierungsebenen benötigt, können diese Tabellen problemlos nach diesem Schema erweitert werden. Die Tabelle 3 kann jeweils für alle einzelnen Kampagnen und für die Gesamtergebnisse aller Kampagnen verwendet werden.

Tabelle 2: Darstellung der Ergebnisse der UG 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 UG-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 3: Darstellung der Gesamtergebnisse auf UG-Ebene nach Stoffgruppen

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Gesamt kg/m ² *Wo	Gesamt Masse-%	Gesamt t/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 (UG-Ebene)

Die ermittelten flächenspezifischen 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 einzelner Flächen hochgerechnet werden. Die Differenz zu den Verwiegungsmengen ist auf in Litteringabfälle enthaltenen sonstigen Abfällen zurückzuführen, da Litteringabfälle oft mit anderen Abfällen vermischt angeliefert werden. Für die hochgerechnete Litteringabfall-Menge ist eine Abweichung von 10 bis 25 % unterhalb der verwogenen Menge zu erwarten. Für die Plausibilisierung sollten die Abfallmengen der letzten 3 Jahre herangezogen werden.

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

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

Für eine einfache Varianzberechnung beschränken sich die statistischen Kennziffern auf die Berechnung der Varianz, des Variationskoeffizienten und des relativen Fehlers (Konfidenzintervalls). Das Einhalten des Unsicherheitsbereiches wird anhand eines Vergleiches des relativen Fehlers mit den gewünschten, zuvor festgelegten Genauigkeitsbereiches bei einer festgelegten Sicherheit bestimmt. Als erster Schritt hierfür muss die Berechnung des Schätzwertes \hat{X} einer Stichprobe durchgeführt werden, dies wird in Gleichung 6 abgebildet.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n \dot{x}_i) \cong \hat{X} \quad \text{Gleichung 6}$$

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

In Gleichung 7 wird eine Varianzberechnung auf Basis der Stichprobenwerte das gesamte UG abgebildet, der als Obergrenze für den UG-Schätzwert angenommen werden kann. Die genaue Berechnung für das mehrstufige geschichtete Modell ist aufwendig und kann daher durch die beschriebene Näherung ersetzt werden.

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad \text{Gleichung 7}$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 \quad \text{Varianz des Schätzwertes}$$

Gleichung 8 gibt die Formel wieder, um den Variationskoeffizient zu bestimmen, Gleichung 9 den relativen Fehler der Ergebnisse.

$$\text{varkoeff}(x_i) = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_{\bar{X}}^2}{\bar{X}}}}{\bar{X}} \quad \text{Gleichung 8}$$

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

$$\varepsilon_{x_i} = \text{varkoeff}(x_i) \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \quad \text{Gleichung 9}$$

$$\varepsilon_{x_i} \quad \text{Relativer Fehler}$$

$$\alpha \quad \text{Irrtumswahrscheinlichkeit}$$

Bei starken Abweichungen der Ergebnisse zwischen dem geplanten zulässigen Fehler und dem berechneten Fehler können folgende mögliche Fehlerquellen ursächlich sein und entsprechend eingeordnet und korrigiert werden: die Zuordnung von Blöcken, fehlerhafte Flächendaten oder Ausreißer in den Sammelmengen, welche auf ungewöhnliche Ereignisse, wie zum Beispiel öffentliche Veranstaltungen oder private Feiern auf den Flächen 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.

Da es bislang nur wenig Vergleichsanalysen gibt, ist der jahreszeitliche Einfluss auf die Litteringabfall-Zusammensetzung nicht abschließend zu beurteilen. Aus diesem Grund ist zu empfehlen, im Rahmen der ersten Untersuchung drei Kampagnen (Frühling/Herbst, Sommer, Winter) durchzuführen. Wird festgestellt, dass sich keine signifikanten Unterschiede ergeben, kann die Anzahl der Kampagnen für die folgenden Untersuchungen in Abhängigkeit der Ergebnisse auch reduziert 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 und 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 UG des Bundesgebietes 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 Untersuchungsspezifische Planungsdaten auf Bundesebene

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.

8.1.1 Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse)

Bei der Untersuchungsplanung erfolgte die Festlegung der Kampagnenanzahl bereits auf UG-Ebene. Für Litteringabfälle wurden auf UG-Ebene drei Untersuchungskampagnen festgelegt. Damit ergeben sich auch auf Bundesebene drei Untersuchungskampagnen, die entsprechend geplant und hochgerechnet werden müssen.

8.1.2 Schichten (Berücksichtigung von Einflussgrößen auf Bundes-Ebene)

Die Durchführung einer bundesweit repräsentativen Probenahme und Analyse wird aus verschiedenen Gründen als nicht realisierbar angesehen. Neben dem wirtschaftlichen Gesichtspunkt ist dabei auch auf die äußerst veränderlichen Umgebungseinflüsse und Systemstrukturen bei der Litteringabfallerfassung zu verweisen.

Eine Interpolation und Hochrechnung von Ergebnissen zur Darstellung einer bundesdeutschen Gesamtsituation für den Stoffstrom Litteringabfälle sollte allerdings umsetzbar sein. Ein Ansatzpunkt hierfür ergibt sich aus der siedlungsstrukturellen Gliederung des Landes.

Wie bereits ausgeführt, sind die Stadtgebiete in den Mittelpunkt der Untersuchung zu stellen, aber hinsichtlich ihrer Ausprägung und Strukturen unterscheidbar. Primär sind dabei die Stadtgrößen nach Gesamteinwohnerzahlen und deren Flächenanteile unterschiedlicher Einwohnerdichte bzw. Bebauungsstrukturen als Gruppierungs- bzw. Bezugskriterien von Belang.

Bezüglich der Stadtgrößen wird empfohlen in Anlehnung an die BBSR-Systematik der Stadt- und Gemeindetypen folgende Differenzierung vorzunehmen und der Beprobungsverteilung bzw. für den Ergebnisübertrag in eine Hochrechnung zugrunde zu legen:

- ▶ Großstädte (Metropolen, Regiopole und Großstädte): sind Gemeinden eines Gemeindeverbandes oder Einheitsgemeinden mit mindestens 100.000 Einwohnern.
- ▶ Mittelstädte: sind Gemeinden eines Gemeindeverbandes oder Einheitsgemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern; vereinzelt sind auch Gemeinden mit mindestens 9.000 Einwohnern und oberzentraler Funktion hier zuordenbar.
- ▶ Kleinstädte: sind Gemeinden eines Gemeindeverbandes oder Einheitsgemeinden mit 5.000 bis unter 20.000 Einwohnern.

Orientierungshilfe für diese Einteilung und die jeweilige Gemeindezuordnung (nach Ortsbezeichnung und Gemeindegrenznummer) bieten die Referenztabellen Deutschland zur BBSR-Raumgliederung (Tabellenblatt „Gemeindegrenznummer (inkl. Kreise)“ (BBSR, o.J.). Mittels dieser Informationsbasis lässt sich auch bestimmen, in welchem Umfang und welcher Verteilung Repräsentanten der verschiedenen Städte Kategorien für einen bundesweiten Untersuchungsansatz zu Litteringabfällen einzubeziehen sind (siehe Kapitel 9). Die Daten sind auch zur Verschneidung mit den Gemeindegrenzspezifischen Flächennutzungsdaten (siehe Kapitel 3.3.2) heranzuziehen und mit diesen zu verschneiden. Zur weiteren Differenzierung sind die unterschiedlichen Gebietsstrukturen in den jeweiligen Ortsgrößenklassen abzubilden.

8.1.3 Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben)

8.1.3.1 Definition der Stichprobeneinheiten

Auswahleinheiten auf Bundesebene sind die Gemeinden als Untersuchungsgebiete (Gesamtanzahl 10.775) (DESTATIS, 2024).

8.1.3.2 Notwendiger Stichprobenumfang

Der notwendige Stichprobenumfang auf Bundesebene (Primärstichproben) ergibt sich aus der Verteilung der UG nach Schichten. Daraus ergeben sich auf Bundesebene acht ausgewählte UG, die auf vier unterschiedliche Regionen (Nord, West, Ost und Süd) zu verteilen sind.

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

Für jede Sortieranalyse auf UG-Ebene müssen somit insgesamt mindestens 72 Stichprobeneinheiten untersucht werden, das heißt 24 Stichprobeneinheiten pro Kampagne.

Daraus ergibt sich ein Stichprobenumfang für die Bundesweite Untersuchung von 12 (Schichten auf Bundesebene) x 72 Stichprobeneinheiten auf UG-Ebene entsprechend einer Gesamtanzahl von 864 Stichprobeneinheiten.

Durch Einhaltung der Mindestanforderungen von $\pm 10\%$ auf UG-Ebene lässt sich eine Genauigkeit von 3 bis 5 % ableiten, so dass die Stichprobenanzahl für die Gesamtmenge sowie für die mengenmäßig relevanten Stoffgruppen wie "Verpackungen" im Litteringabfall gewährleistet werden kann.

Je nach Untersuchungsrahmen und -anforderung kann ein höherer Stichprobenumfang bestimmt werden (siehe Teilbericht 1 zum Forschungsvorhaben Konzeptentwicklung für

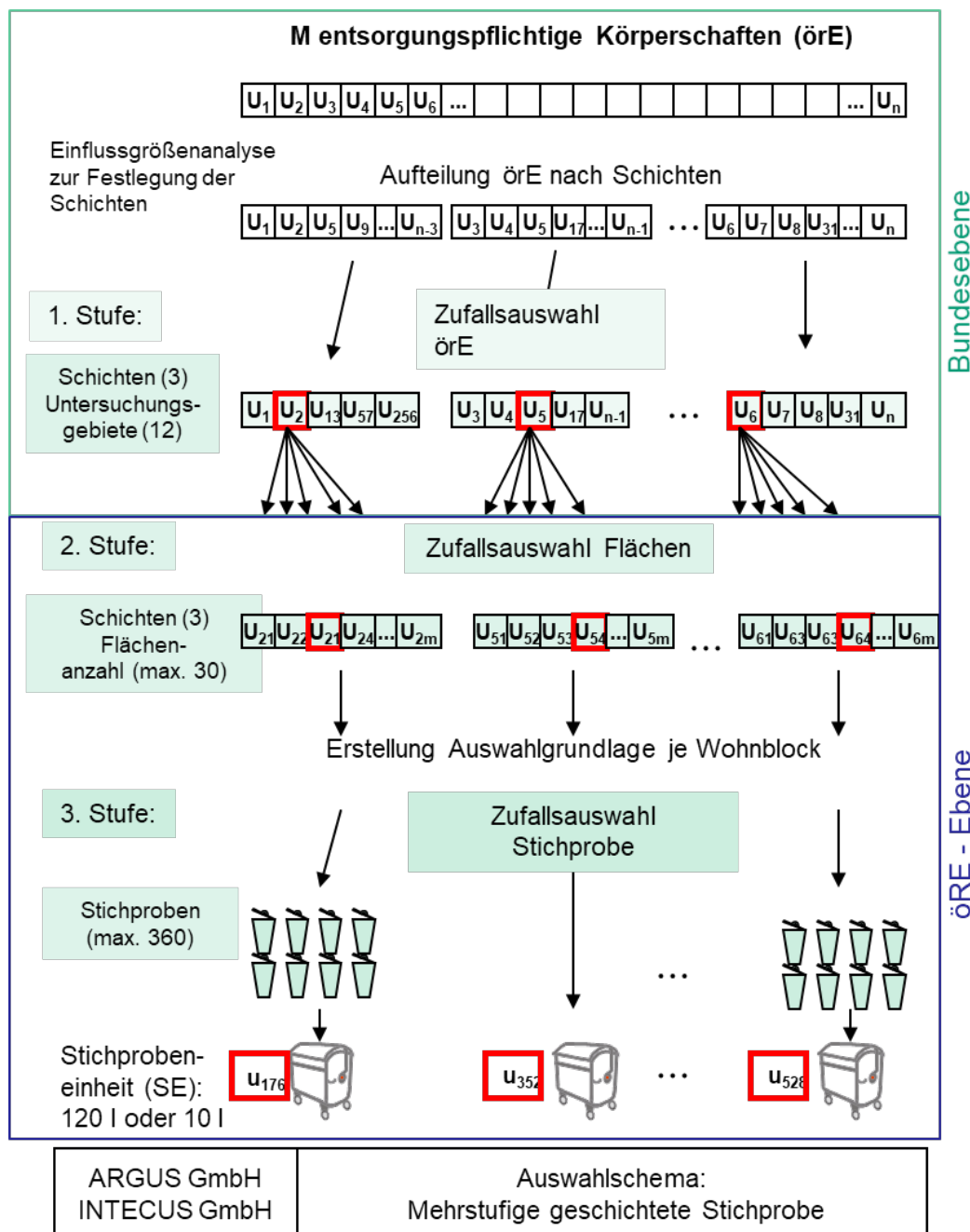
regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme; FKZ 3723 31 103 1).

8.1.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten

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

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 pro Kampagne – Litteringabfälle



Quelle: eigene Darstellung, ARGUS

9 Auswertung und Hochrechnung (Bundesebene)

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

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:

- ▶ Gesamtfläche der Schichten auf Bundesebene (Datenquelle: DESTATIS, „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung“ (Code: 33111-0001)⁵)

9.2 Vorgehensweise der mehrstufigen Hochrechnung nach Schichten und Kampagnen

Die Hochrechnung der Stichprobenmassen (in kg je Stichprobeneinheit) auf die Grundgesamtheit (Gesamtmassen in Tonnen je Jahr, in flächenspezifischen Massen in Kilogramm je Einwohner und 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 UG-Ebene vereinfachend zusammengefasst. Für die Ebene 1 werden die UG-Ergebnisse auf Bundesergebnisse hochgerechnet.

9.2.1 Hochrechnung auf DE Schichten (Kampagnen und Gesamt)

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

9.2.1.1 Hochrechnung auf Schichtebene DE

Die Ergebnisse der UG-Untersuchungen sind nach den folgenden Schritten auf die jeweiligen bundesweiten Schichten (Deutschland Gesamt) und das Kalenderjahr hochzurechnen. Mit Gleichung 10 werden die Schichtergebnisse der UG [t/(Wo)] auf die bundesweiten Schichtwerte hochgerechnet.

$$\hat{X}_{k,h_{DE},l} = \sum_{m=1}^{n_m} \sum_{h_{UG}=1}^{n_{h_{UG}}} \hat{X}_{k,h_{DE},m,h_{UG},l} \quad \text{Gleichung 10}$$

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

$\hat{X}_{k,h_{DE},m,h_{UG},l}$ Schätzwert für die Masse je Kampagne k , Schicht h_{DE} , Schicht h_{UG} , Primärstichprobe m und Stoffgruppe l (in Gleichung 3 als $\hat{X}_{k,h_{UG},l}$ bezeichnet)

k Laufindex für Kampagnen

⁵ <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/33111/details> (abgerufen am 07.11.2025)

m	<i>Laufindex für Primärstichproben</i>
h_{UG}	<i>Laufindex für UG-Schichten</i>
h_{DE}	<i>Laufindex für DE-Schichten</i>
l	<i>Laufindex für Stoffgruppen</i>
$n_{h_{UG}}$	<i>Anzahl der UG Schichten</i>
n_m	<i>Anzahl der Primärstichproben (zufällig ausgewählte UG auf Bundesebene, welche den Schichten auf Bundesebene zugeteilt werden)</i>

9.2.1.2 Hochrechnung auf Kampagnenebene und DE-Gesamt

Die Hochrechnung der absoluten Abfallmengen je Kampagne erfolgt auf Basis der Schätzwerte der DE-Schichten nach Gleichung 11. Die ermittelten absoluten Abfallmengen je Kampagne sind auf den Gesamtwert für Deutschland im Betrachtungszeitraum im Kalenderjahr gemäß Gleichung 12 hochzurechnen. Der Wert für den Gewichtungsfaktor GF_k kann Kapitel 5.2.4 entnommen werden.

$$\hat{X}_{k,l} = \sum_{h_{DE}=1}^{n_{h_{DE}}} \frac{FL_{h_{DE}}}{fl_{h_{DE}}} \cdot \hat{X}_{k,h_{DE},l} \quad \text{Gleichung 11}$$

$$\hat{X}_l = \sum_{k=1}^{n_k} \frac{365}{7} \cdot GF_k \cdot \hat{X}_{k,l} \quad \text{Gleichung 12}$$

\hat{X}_l	<i>Schätzwert für die Masse je Stoffgruppe l</i>
$\hat{X}_{k,l}$	<i>Schätzwert für die Masse je Kampagne k und Stoffgruppe l</i>
$\hat{X}_{k,h_{DE},l}$	<i>Schätzwert für die Masse je Kampagne k, Schicht h_{DE}, und Stoffgruppe l</i>
k	<i>Laufindex für Kampagnen</i>
h_{DE}	<i>Laufindex für DE-Schichten</i>
n_k	<i>Anzahl der Kampagnen</i>
$n_{h_{DE}}$	<i>Anzahl der DE-Schichten</i>
$FL_{h_{DE}}$	<i>Fläche in der Schicht h_{DE} in der Grundgesamtheit</i>
$fl_{h_{DE}}$	<i>Fläche in der Schicht h_{DE} in der Stichprobe</i>
GF_k	<i>Gewichtungsfaktor für jahreszeitliche Einflussfaktoren je Kampagne (siehe Kapitel 5.2.4)</i>
$\frac{365}{7}$	<i>Hochrechnungsfaktor von Wochenwerte auf Jahreswerte</i>

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

10 Dokumentation und Ergebnisbericht (Bundesebene)

Vor der Darstellung der ermittelten Ergebnisse der Bundesebene im Ergebnisteil ist eine Dokumentation der vorhandenen Rahmenbedingungen nötig, um die methodische Transparenz der Hochrechnung zu gewährleisten. Insbesondere ist die Verteilung der Flächengröße 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 ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) und absolut (t/a) dargestellt werden.

Des Weiteren wird im Anhang des Ergebnisberichtes 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 UG-Ebene enthalten. Für jede Schicht auf Bundesebene wird hier die prozentuale, die jährliche einwohnerspezifische Menge und die Gesamtjahresmenge dargestellt.

Eine schematische Darstellung der Ergebnisse ist in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt. Bezeichnungen und Indizes sind analog zur Ergebnisdarstellung auf UG-Ebene (siehe Kapitel 6).

Tabelle 4: 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 5: Darstellung der Gesamtergebnisse auf Bundesebene

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Gesamt kg/m ² *a	Gesamt Masse-%	Gesamt t/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 UG-Schicht abgeleitet werden. Wenn die Unsicherheitsbereiche auf der UG-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.

Da Litteringabfälle statistisch nicht separat erfasst werden, ist zur Qualitätssicherung der bundesweiten Hochrechnung eine bundesweite Befragung von UG bzw. Gemeinden zur Menge der jährlich eingesammelten Litteringabfälle erforderlich. Da nicht alle Gemeinden diese Zahlen verfügbar haben werden, sind die durch die Befragung erhaltenen Angaben auf das Bundesgebiet hochzurechnen.

12 Quellenverzeichnis

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung. (o.J.): BBSR-Raumgliederungen, Referenztabellen Deutschland. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raubeobachtung/downloads/download-referenzen.html;jsessionid=A8C19943D8E4C284F2DCAAF23ACA507.live21321> (aufgerufen am 02.11.2024), Tabellenblatt „Gemeindereferenz (inkl. Kreise), Spalte AO“.

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 02.11.2024).

DESTATIS (o.J.): Tabelle 33111-0005: Bodenfläche (tatsächliche Nutzung): Deutschland, Stichtag, Nutzungsarten (AdV-Nutzungsartenkatalog 2009). <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=33111-0005&bypass=true&levelindex=0&levelid=1730554918212> (abgerufen am 02.11.2024).

DESTATIS (2024): Gemeinden nach Bundesländern und Einwohnergrößenklassen am 31.12.2023. https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/08-gemeinden-einwohner-groessen.xlsx?__blob=publicationFile (abgerufen am 10.01.2025).

Jepsen, D.; Zimmermann, T.; Spengler, L.; Rödig L.; Bliklen, R.; Wagner, J.; Struck, K.; Hiestermann, L. u. H. Schulz (2020): Kunststoffe in der Umwelt - Erarbeitung einer Systematik für erste Schätzungen zum Verbleib von Abfällen und anderen Produkten aus Kunststoffen in verschiedenen Umweltmedien. UBA-Texte 198/2020. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kunststoffe-in-der-umwelt-erarbeitung-einer> (abgerufen am 02.11.2024).

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

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

LfULG - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft. [Hrsg.] (2015): Richtlinie zur einheitlichen Abfallanalytik in Sachsen - Sächsische Sortierrichtlinie, Eigenverlag, Dresden.

MfUF RIP - Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz. [Hrsg.] (2001). LAGA PN 98 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. https://www.laga-online.de/documents/m32_laga_pn98_1503993280.pdf. (abgerufen am 02.11.2024)

Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz. (2023): 75. Jahrgang Nr. 12. Mainz. [231115 GAP-SP Ministerblatt Nr.12.pdf](https://www.laga-online.de/documents/m32_laga_pn98_1503993280.pdf) (abgerufen am 27.10.2025).

Statistische Landesämter. (o.J.): Flächen nach Art der tatsächlichen Nutzung nach Gemeinden (für die Ebene der Gemeinden zu beziehen über das jeweilig zuständige Statistische Landesamt in der jeweils aktuellsten Fassung).

Anlagen

A.1 Technische Voraussetzungen

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

A.2 Personelle Voraussetzungen

- ▶ Sortierleiter mit Sortiererfahrung
- ▶ geschulte Sortierkräfte

A.3 Arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen

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

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

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

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

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

- ▶ Eine geeignete Arbeitsschutzausrüstung für die mit der Abfalluntersuchung beauftragten Personen ist sicherzustellen. Sie umfasst den ganzen Körper bedeckende Arbeitsschutzbekleidung sowie schnittsichere, an der Oberseite diffusionsfähige

Handschuhe, Atemschutz, Schutzschuhe und ggf. Kopfbedeckung, Schutzbrillen und Gehörschutz.

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

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