

TEXTE

57/2026

Teilbericht 2.10

Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme

Gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle

von:

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

Felix Kaiser, Nadine Buschow, Janosch Radermacher
u. e. c. Berlin Umwelt- und Energie-Consult GmbH, Berlin

Herausgeber:
Umweltbundesamt

TEXTE 57/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3723 31 103 1

Teilbericht 2.10

Konzeptentwicklung für regelmäßige, gebündelte Abfalluntersuchungen zum Monitoring ausgewählter Abfallströme

Gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle

von

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

Felix Kaiser, Nadine Buschow, Janosch Radermacher
u. e. c. Berlin Umwelt- und Energie-Consult 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:

März 2025

Redaktion:

Fachgebiet III 1.6 Kunststoffe und Verpackungen
Dr. Franziska Krüger

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8157>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 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 gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle – durch präzise Messungen zu erfassen und somit die Effizienz der Stoffstromanalysen zu steigern. Es besteht ein wachsendes Interesse an der Rückverfolgbarkeit dieser Ströme, um Datenlücken zwischen den in Verkehr gebrachten Stoffstrommengen (beispielsweise Kunststoffverpackungen) und der tatsächlichen Rückführung zu schließen.

Die Methodik zur Durchführung der Abfallanalysen umfasst 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 bei der Anlieferung (Wechselbehälter, Container, Sammelfahrzeug) von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen an Vorbehandlungsanlagen und Müllverbrennungsanlagen, und wird durch eine detaillierte Sortierung in verschiedene Stoffgruppen ergänzt. Besondere Anforderungen an die technische Durchführung und Qualitätssicherung werden berücksichtigt. Die Stichprobenergebnisse werden in Kampagnen auf Anlagen-Ebene erfasst, analysiert und statistisch hochgerechnet. Ziel ist es, belastbare Daten zur Menge und stofflichen Zusammensetzung für die in den jeweiligen Entsorgungspfaden anfallenden Abfälle 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 – in this case, mixed commercial municipal 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 material flow quantities placed on the market (e.g., plastic packaging) and their actual recovery.

The methodology for conducting waste analyses includes sampling, sorting, and the statistical extrapolation of the 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 upon delivery (swap container, container, collection vehicle) of mixed commercial municipal waste to pre-treatment plants and waste incineration plants, 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 recorded, analyzed, and statistically extrapolated in campaigns at plant level. 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

Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für gemischten gewerblichen Siedlungsabfall....	11
2 Untersuchungsgegenstand.....	13
Teil A: Methodenbeschreibung zur Ermittlung der Zusammensetzung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle auf Anlagen-Ebene	15
3 Untersuchungsplanung (Anlagen-Ebene).....	16
3.1 Allgemeine Planungsdaten	16
3.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten für die Sichtung und Sortierung	17
3.2.1 Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Schwankungen)	17
3.2.2 Anlagentypen (Berücksichtigung von Schichten auf Anlagen-Ebene)	17
3.2.3 Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben).....	17
3.2.3.1 Definition der Stichprobeneinheiten für die Sichtung.....	17
3.2.3.2 Definition der Stichprobeneinheiten für die Sortierung.....	17
3.2.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten für die Sichtung	18
3.2.3.4 Auswahl der Stichprobeneinheiten für die Sortierung.....	18
4 Durchführung (Anlagen-Ebene)	19
4.1 Stichprobenahme für die Sichtung	19
4.2 Stichprobenahme für die Sortierung	19
4.3 Sichtung.....	20
4.4 Siebung und Sortierung.....	20
4.5 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung.....	21
4.5.1 Stoffgruppenkatalog der Sichtung	21
4.5.2 Stoffgruppenkatalog der Sortierung.....	23
5 Auswertung und Hochrechnung (Anlagen-Ebene).....	28
5.1 Allgemeine Daten für Auswertung und Hochrechnung der Sichtungs- und Sortierergebnisse	28
5.2 Umrechnung der volumenbezogenen Sichtungsdaten in massenbezogene Daten.....	28
5.3 Hochrechnung der Sichtungsergebnisse.....	29
5.4 Hochrechnung der Sortierergebnisse	29
5.5 Verknüpfung der Daten aus der manuellen Sortierung mit den Ergebnissen der Sichtung.	30
6 Dokumentation und Ergebnisbericht (Anlagen-Ebene)	31
7 Qualitätssicherung.....	32

Teil B: Methodenbeschreibung zur Zusammenführung und Hochrechnung der Untersuchungsergebnisse je Schicht und für Gesamt Deutschland	34
8 Untersuchungsplanung (Bundesebene).....	35
8.1 Allgemeine Planungsdaten	35
8.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten für die Sichtung und Sortierung	35
8.2.1 Schichten (Regionen)	35
8.2.1.1 Notwendiger Stichprobenumfang für die Sichtung.....	36
8.2.1.2 Notwendiger Stichprobenumfang für die Sortierung.....	36
9 Auswertung und Hochrechnung.....	38
9.1 Hochrechnung der Sichtungsergebnisse.....	38
9.2 Hochrechnung der Sortierergergebnisse	38
9.3 Ermittlung des Gesamtaufkommens und der Inputmengen je Anlagentyp.....	38
9.4 Zusammenführung der Ergebnisse aus der Sichtung und Sortierung	39
10 Dokumentation und Ergebnisbericht.....	40
11 Qualitätssicherung.....	42
12 Quellenverzeichnis	43
A Anhang	44
A.1 Technische Voraussetzungen.....	44
A.2 Personelle Voraussetzungen.....	44
A.3 Arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Notwendiger Stichprobenumfang für Sichtung und Sortierung auf Anlagen-Ebene	18
Tabelle 2:	Stoffgruppenkatalog der Sichtung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle für eine Standardanalyse	22
Tabelle 3:	Stoffgruppenkatalog der Sortierung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle für eine Standardanalyse	23
Tabelle 4:	Darstellung der Ergebnisse der Anlagenebene nach Stoffgruppen und Stichproben	31
Tabelle 5:	Notwendiger Stichprobenumfang für Sichtung und Sortierung nach Schichten.....	37
Tabelle 6:	Darstellung der Ergebnisse der Anlagenstandorte nach Stoffgruppen und Region	40
Tabelle 7:	Darstellung der Ergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen und Schichten	41
Tabelle 8:	Darstellung der Gesamtergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen.....	41

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
a	Jahr
Abs.	Absatz
Al	Aluminium
a. n. g.	anderweitig nicht genannt
ASN	Abfallschlüsselnummer
ARRL	Abfallrahmenrichtlinie
Art.	Artikel
AVV	Abfallverzeichnisverordnung
BioStoffV	Biostoffverordnung
cm	Zentimeter
EAG	Elektro(nik)altgeräte
EfB	Entsorgungsfachbetrieb
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
Fe-Metall	Eisenmetall
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
ITAD	Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.
kg	Kilogramm
LAGA	Bundes/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LAGA PN 98	Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung / Beseitigung von Abfällen
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft
LfU RIP	Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz
LMA	Lebensmittelabfälle
LV-Batterie	Leichte Verkehrsmittel Batterie
m³	Kubikmeter
Mg	Megagramm
mm	Millimeter
MVA	Müllverbrennungsanlage
NE-Metall	Nicht-eisenhaltige Metalle
PPK	Papier, Pappe, Karton

Abkürzung	Erläuterung
UBA	Umweltbundesamt
VBA	Vorbehandlungsanlage
VerpackG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen
%	Prozent

1 Zweck und Inhalt der Methodenbeschreibung für gemischten gewerblichen Siedlungsabfall

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 (EAG), Bioabfälle im Restmüll und gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle einem Monitoring zu unterziehen. Für diese Abfallströme sollen alle als relevant erachteten Entsorgungspfade identifiziert und bezüglich ihrer stofflichen Zusammensetzung untersucht werden.

In dieser Methodenbeschreibung wird der gemischte gewerbliche Siedlungsabfall als nicht-bestimmungsgemäßer Entsorgungspfad für Kunststoffverpackungsabfälle², Lebensmittelabfälle³ und Altbatterien sowie als bestimmungsgemäßer Entsorgungspfad für Kunststoffe (Nicht-Verpackungen gem. Verpackungs-Gesetz) beschrieben. Für den gemischten gewerblichen Siedlungsabfall wird ein Methodenkonzept entwickelt, welches die Art der Erhebung (Optische Sichtung, manuelle Sortierung), die Stichprobenplanung, die Messpunkte, die Schichtungen, die Beschreibung der Sichtung/ Sortierung, das Hochrechnungsverfahren auf verschiedenen Ebenen und die Belastbarkeit der Ergebnisse beschreibt. Bei der Ausgestaltung des Konzepts wird auf vorhandene Systematiken und Erfahrungen, beispielsweise aus früheren Analysen von Gewerbeabfällen und Bilanzierungen von Vorbehandlungsanlagen (VBA) (vgl. Dehne et al. 2011, Knappe et al. 2023), zurückgegriffen. Grundlage für die in der Methodik vorgesehenen Messverfahren (Sichtung und Sortierungen) sind die von ARGUS durchgeführte Untersuchung zur Menge und Zusammensetzung der beseitigten Gewerbeabfälle in Berlin 2008 (ARGUS, 2008) sowie die aktuellen Beschreibungen in den Sortierrichtlinien für Sachsen 2014 (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft (LfULG), 2014) und Rheinland-Pfalz 2022 (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RIP), 2022; Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz, 2023).

Die Daten zu Aufkommen und Zusammensetzung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen sollen vergleichbar, fortschreibbar und zusammenführbar (LfU RIP, 2022; Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz, 2023) sein und sollen bezüglich ihrer

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

² nicht bestimmungsgemäß heißt hier, dass es Rücknahmeregelungen/-systeme nach VerpackG gibt und die Verpackungen nur dann im Regime der GewAbfV landen, wenn die prioritär anzuwendende Entsorgung nach VerpackG nicht erfolgt

³ nicht bestimmungsgemäß eingestuft, da Bioabfälle im Gemisch nur enthalten sein dürfen, soweit sie die Vorbehandlung nicht beeinträchtigen oder verhindern; Nach LAGA M 34 sind Bioabfälle vorrangig getrennt zu sammeln, da sogar noch geringere Anteile als 5 Ma.-% den Betrieb von Vorbehandlungsanlagen beeinträchtigen

Sortierstoffgruppen (Stoffgruppenkatalog) mit den für die Stoffströme darüber hinaus benötigten nicht-bestimmungsgemäßen Entsorgungspfaden kompatibel sein. Die Untersuchungsergebnisse der Analysen gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle sollen für alle relevanten Stoffströme so konzipiert (d. h. gebündelt) werden, dass die Ergebnisse für alle zu untersuchenden Entsorgungspfade genutzt werden können und damit Synergien genutzt und die Bearbeitung möglichst effizient gestaltet werden kann.

Die vorliegende Methodenbeschreibung ist in zwei Teile gegliedert:

- A) Methodenbeschreibung zur Ermittlung der Zusammensetzung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle auf Anlagen-Ebene und
- B) Zusammenführung und Hochrechnung der Untersuchungsergebnisse je Schicht und für Gesamt Deutschland der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle.

2 Untersuchungsgegenstand

Mit der vorliegenden Methodenbeschreibung für gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle wird in **Teil A** (Kapitel 3 bis 7) die Menge und die Zusammensetzung der Abfälle auf Anlagen-Ebene und in **Teil B** (Kapitel 8 bis 11) die Zusammenführung und Hochrechnung der Untersuchungsergebnisse auf Bundesebene bestimmt.

Gewerbliche Siedlungsabfälle sind denen aus privaten Haushalten hinsichtlich der Zusammensetzung oder Beschaffenheit ähnlich. Hierzu zählen Abfälle, die in Kapitel 20 der Anlage der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) aufgeführt sind, aber auch gewerbliche und industrielle Abfälle, die nicht dem Kapitel 20 der AVV zugeordnet werden, aber nach ihrer Art, Zusammensetzung, Schadstoffgehalt und Reaktionsverhalten mit Abfällen aus privaten Haushalten vergleichbar sind. Zu den gewerblichen Siedlungsabfällen zählen auch alle Verpackungsabfälle (Kapitel 15 nach AVV), soweit diese nicht an den Hersteller/Inverkehrbringer oder ein Rücknahmesystem im Sinne des Verpackungsgesetzes zurückgegeben werden. Gewerbliche Siedlungsabfälle sind nach Materialart bereits an der Anfallstelle getrennt zu sammeln und vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuzuführen (vgl. § 3 Abs. 1 Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV⁴)). Ist eine Getrenntsammlung einzelner, dieser Pflicht unterliegender Fraktionen technisch nicht möglich oder wirtschaftlich unzumutbar (vgl. § 3 Abs. 2 GewAbfV), ist es zulässig, diese Fraktionen im Gemisch zu sammeln, wobei Bioabfälle und Glas nur enthalten sein dürfen, „soweit sie die Vorbehandlung nicht beeinträchtigen oder verhindern“ (vgl. § 4 Abs. 1 Nr. 2 GewAbfV). Gemäß der Vollzugshilfe der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) Mitteilung 34 (LAGA M34) liegt die Toleranzschwelle für Glas und Bioabfall bei maximal 5 Massen-Prozent (%) (LAGA 2019, S. 30).

Gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle werden sowohl über Umleer- als auch über Wechseltouren beim Erzeuger durch private Entsorgungsunternehmen eingesammelt. Die Behältergrößen können vom Gewerbebetrieb frei gewählt werden. Die für eine regelmäßige Abholung verwendeten Umleerbehälter haben in der Regel ein Volumen zwischen 60 Liter und 1.100 Liter analog der Sammlung von Hausmüll. Bei der Sammlung mit Frontladern kommen auch Umleerbehälter mit einem Volumen bis max. 5.000 Liter zum Einsatz. Im Falle von Wechselbehältern können Containergrößen zwischen 2 Kubikmeter (m³) und 36 m³ bereitgestellt werden, häufig kommen hierbei Presscontainer zum Einsatz.

Gewerbliche Siedlungsabfälle, die dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger überlassen werden, sind nicht Gegenstand dieser Methodenvorschrift. Diese Mengen, die in Folge der Kleinmengenregelung (§ 5 GewAbfV) oder der Überlassungsregelung nach § 7 GewAbfV als sogenannter Geschäftsmüll in das Regime der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger gelangen, finden in der Methodenvorschrift für Hausmüll Berücksichtigung.

Das Gesamtaufkommen **gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle** lässt sich anhand der Daten des Statistischen Bundesamtes zur Abfallentsorgung rechnerisch ermitteln (vgl. Dehne et al. 2011). Hierfür wird ausgenutzt, dass in der Praxis gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle den Abfallschlüsseln 20 03 01 (gemischte Siedlungsabfälle) und 15 01 06 (gemischte Verpackungen) zugeordnet werden.

Hinweis: Im Zuge des parallellaufenden UBA-Projektes „Monitoring der Lebensmittelabfälle in Deutschland; Weiterentwicklung der Methodik und Bestimmung des Anteils an Lebensmittelabfällen zur Erfüllung der Berichtspflichten gegenüber der EU-Kommission“

⁴ Gewerbeabfallverordnung vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 28. April 2022 (BGBl. I S. 700) geändert worden ist.

(FKZ: 3723 34 301 0) wird der Anteil an Lebensmittelabfällen (LMA) in ausgewählten Abfallschlüsselnummern (ASN) untersucht. Als Untersuchungsinstrument ist die Befragung von Abfallbehandlungsanlagen mit den entsprechenden ASN im Anlageninput vorgesehen. Unter den zu befragenden Anlagen befinden sich auch die mit der vorliegenden Methodenbeschreibung adressierten Anlagentypen (Durchführung von Sichtungen bei VBA und MVA; vgl. Kap. 3). Die im Zuge der Sichtung ermittelten Daten sind grundsätzlich geeignet, um im parallelen UBA-Projekt zu LMA verwendet zu werden. Ein Austausch mit den für die Befragung beauftragten Unternehmen ist demnach sicherzustellen.

Teil A:
**Methodenbeschreibung zur Ermittlung der Zusammensetzung gemischter
gewerblicher Siedlungsabfälle auf Anlagen-Ebene**

3 Untersuchungsplanung (Anlagen-Ebene)

Die Planung der Untersuchung auf Anlagen-Ebene umfasst neben organisatorischen und logistischen Aspekten im Wesentlichen die Entwicklung des Stichprobenkonzeptes sowie der Stichprobenplanung. Dazu gehört die Festlegung der relevanten Einflussgrößen sowie des erforderlichen Stichprobenumfangs.

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle erfolgt sowohl auf Anlagen- als auch auf Bundesebene. Die Bestimmung auf Anlagen-Ebene erfolgt auf Basis einer Kombination aus Sichtung (auch optische Klassifikation) und (händischer) Sortieranalysen.

In einem ersten Schritt wird mittels Sichtung die stoffliche Zusammensetzung auf Basis von Abfalloberguppen, also auf der 1. Differenzierungsebene ermittelt. Bei der Sichtung organischer Bestandteile ist eine weitere Differenzierung zwischen Lebensmittelabfällen und sonstiger Organik vorgesehen, um die Schnittstelle zum parallellaufenden UBA-Forschungsvorhaben herzustellen (vgl. Kap. 2). Ferner sind auch Textilien differenzierter bei der Sichtung zu berücksichtigen (vgl. Tabelle 2). In einem zweiten Schritt werden Informationen zur 2. und 3. Differenzierungsebene durch händische Sortierung generiert.

Die Sichtung wird als stichprobenartige, repräsentative Teilerhebungen realisiert. Die Sichtung erfolgt für an Vorbehandlungsanlagen (VBA) und Müllverbrennungsanlagen (MVA) angelieferte Abfälle. Eine Stichprobeneinheit für die Sichtung ist der Inhalt einer Anlieferung (Wechselbehälter, Container, Sammelfahrzeug) von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen an VBA und MVA. Für die manuelle Sortierung gibt es hinsichtlich der Stichprobenahme verschiedene Varianten. Mit ihrem deutlich geringeren Stichprobenumfang (vgl. Kap. 3.2.3) stellt die Sortierung eine orientierende Untersuchung zur Gewinnung von Kenntnissen über die Abfallzusammensetzung auf 2. und 3. Differenzierungsebene dar.

Mit Blick auf die Zugriffsebene VBA sind neben der Untersuchung einer Teilmenge der gesichteten Anlieferungen alternativ Untersuchungen des Inputlagers oder der in der Anlage erzeugten Outputströme möglich. In Bezug auf MVA sind die beiden letzteren Alternativen in der Praxis kaum darstellbar.

3.1 Allgemeine Planungsdaten

Zur Bestimmung der Zusammensetzung auf Anlagen-Ebene sind Sichtungen und Sortierungen vorgesehen. In einem ersten Schritt sind die Betreiber und Standorte von VBA und MVA zu identifizieren, die gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle annehmen. Diese Informationen können über die von den Bundesländern veröffentlichten Listen der VBA, dem online verfügbaren Entsorgungsfachbetriebe-Register (gemäß §28 der Entsorgungsfachbetriebe-Verordnung - EfbV) und der Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (ITAD) bezogen werden.

Die weiteren erforderlichen Daten und Unterlagen für die Untersuchungsplanung, soweit verfügbar und von aktuellen Datenschutzbestimmungen erlaubt, sind durch den jeweiligen Entsorger (Betreiber der Anlagen) und/ oder die jeweils zuständigen Immissionsschutzbehörden zur Verfügung zu stellen. Für die Planung werden folgende Rahmendaten im Regelfall benötigt:

- ▶ Genehmigte Anlagenkapazität (Jahreskapazität) für die Behandlung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen

- ▶ Jährliche und wochenscharfe Annahmemengen für die aus Gewerbetouren stammende ASN 200301 (werden in der Statistik auch unter dem ASN 20030102 geführt) und 150106 (werden in der Statistik auch unter dem ASN 15010600 erfasst)
- ▶ Durchschnittlicher Fahrzeuginhalt (in Megagramm (Mg)) in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps (Ladevolumens) für Anlieferungen aus Gewerbetouren (ASN 200301 bzw. 20030102 und ASN 150106 bzw. 15010600)

3.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten für die Sichtung und Sortierung

Zu den untersuchungsspezifischen Planungsdaten gehören die Kampagnen, die Anlagentypen und die Stichproben.

Zugriffsebene für die Sichtungen und Sortierungen sind die Fahrzeuganlieferungen an Vorbehandlungs- und Müllverbrennungsanlagen.

3.2.1 Kampagnen (Berücksichtigung jahreszeitlicher Schwankungen)

Für die Analyse gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle sind eine Sichtungs- und Sortierkampagne ausreichend. Mögliche jahreszeitliche Schwankungen sind als gering einzustufen. Wochen, in denen das Entsorgungsverhalten von Feiertagen oder Ferienzeiten beeinflusst wird, sollten bei der Auswahl dennoch ausgeschlossen werden. Gleiches gilt für Großveranstaltungen wie Messen, Stadt- und Gemeindefeste. Die Kampagne beginnt mit der Probenahmetätigkeit vor Ort und endet mit dem Abschluss der Analysetätigkeit.

3.2.2 Anlagentypen (Berücksichtigung von Schichten auf Anlagen-Ebene)

Es wird bei den Sichtungen und Sortierungen zwischen den zwei Anlagentypen VBA und MVA unterschieden. Auf Anlagen-Ebene sind keine Schichtungen vorgesehen, wie beispielsweise bei der Betrachtung von Hausmüll üblich.

Über die Sichtungen auf Anlagen-Ebene wird über den Erhebungszeitraum annähernd eine Vollerhebung angestrebt.

3.2.3 Stichproben (Umfang und Auswahl der Stichproben)

3.2.3.1 Definition der Stichprobeneinheiten für die Sichtung

Eine Stichprobeneinheit für die Sichtung ist der Inhalt einer Anlieferung (Wechselbehälter, Container, Sammelfahrzeug) von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen an VBA und MVA.

Der Stichprobenumfang für die Sichtung je Anlage umfasst 144 Anlieferungen.

3.2.3.2 Definition der Stichprobeneinheiten für die Sortierung

Eine Stichprobeneinheit umfasst ein Abfallvolumen von ca. 1,1 m³ und entspricht damit dem Standardvolumen eines 1,1 m³ Rollcontainers.

Der Stichprobenumfang für die Sortierung je Anlage umfasst 6 Anlieferungen.

Tabelle 1: Notwendiger Stichprobenumfang für Sichtung und Sortierung auf Anlagen-Ebene

Sortierungen	MVA	VBA
Sichtungen	144 Anlieferungen je Anlage	144 Anlieferungen je Anlage
Sortierungen	6 Anlieferungen je Anlage	6 Anlieferungen je Anlage
Zugriffsebene	Fahrzeuganlieferungen	Fahrzeuganlieferungen, Inputlager, Outputströme

3.2.3.3 Auswahl der Stichprobeneinheiten für die Sichtung

Bei der Auswahl der zu sichtenden Anlieferungen ist sicherzustellen, dass möglichst alle Fahrzeug- bzw. Containertypen in den Stichproben vorkommen. Weiterhin ist sicherzustellen, dass für jeden der oben genannten ASN in etwa gleichviele Anlieferungen gesichtet werden.

Die Auswahl zu analysierender Fahrzeuganlieferungen an den zu untersuchenden Anlagenstandorten erfolgt zufällig, wobei ausschließlich Anlieferungen von Abfällen mit den ASN 200301 und 150106 gegenständlich sind. Bei zeitgleicher Anlieferung können ggf. Fahrzeuge mit großen Fahrzeugladungen gegenüber Fahrzeugen mit kleineren Ladungen bevorzugt werden.

Wichtig: Bei der Sichtung von Anlieferungen an VBA ist weiterhin sicherzustellen, dass nur solche Anlieferungen betrachtet werden, die auch tatsächlich einer Vorbehandlung zugeführt werden. Anlieferungen, die aufgrund ihrer Zusammensetzung und Beschaffenheit vom Anlagenbetreiber als nicht sortierfähig eingestuft werden, werden einer energetischen Verwertung zugeführt. Somit sind diese Anlieferungen Gegenstand der Sichtung an MVA.

3.2.3.4 Auswahl der Stichprobeneinheiten für die Sortierung

Die Auswahl der zu sortierenden Stichproben aus den gesichteten Fahrzeuganlieferungen erfolgt zufällig und unter Berücksichtigung der Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung / Beseitigung von Abfällen (LAGA PN 98) (LAGA, 2001).

4 Durchführung (Anlagen-Ebene)

Zur Durchführung gehören die Stichprobenahme, die Sichtung und die Sortierung des gemischten gewerblichen Siedlungsabfalls auf Anlagen-Ebene.

4.1 Stichprobenahme für die Sichtung

Die Stichprobenahme ist bei Abfallanlieferung an der VBA bzw. MVA durchzuführen. Gegenständlich sind dabei Anlieferungen von Abfällen mit ASN 200301 und ASN 150106. Dabei sind für jede Stichprobe die nachfolgend genannten Kenngrößen zu dokumentieren:

► Wiegedaten

- Datum / Uhrzeit der Anlieferung
- Kfz-Kennzeichen
- Herkunft der Abfälle (Befragung der Fahrer) nach Branchen (NACE)
- Abfallart nach AVV-ASN laut Wiegeschein
- Fahrzeug- bzw. Containertyp
 - Container
 - Presscontainer
 - Umleerfahrzeuge
 - sonstige Fahrzeuge
- Ladevolumen des Fahrzeugs/Wechselbehälters/Containers
- Masse der Fahrzeugladung

► Soweit möglich: Füllgrad des Fahrzeugs/Wechselbehälters/Containers (alternativ: Berechnung über Raumdichte)

Bei der Auswahl der Anlieferungen ist sicherzustellen, dass möglichst alle Fahrzeug- bzw. Containertypen in den Stichproben vorkommen. Weiterhin ist sicherzustellen, dass für jeden der oben genannten ASN in etwa gleichviele Anlieferungen gesichtet werden.

4.2 Stichprobenahme für die Sortierung

Die Stichproben für die Sortierung werden durch fraktionierendes Schaufeln und unter Berücksichtigung der Vorgaben der LAGA PN 98 (LAGA, 2001) aus den für die Sichtung abgekippten Haufwerken gewonnen. Für die Herstellung und Entnahme der Mischprobe wird ein Radlader benötigt. Bei Wechseltouren, insbesondere bei Presscontainern ist es möglich, dass die Fahrzeuginhalte auf Grund des Kornspektrums/ der Stückigkeit nicht unmittelbar händisch sortiert werden können. Im Bedarfsfall ist eine Vorzerkleinerung des Materials erforderlich. Neben der Siebtechnik ist für die manuelle Sortierung daher auch ein geeignetes Zerkleinerungsaggregat vorzuhalten. Alternativ kann die Zerkleinerung auch mit der am Anlagenstandort verfügbaren Technik durchgeführt werden.

4.3 Sichtung

Bei der Abfallsichtung werden die Volumenanteile der verschiedenen Stoffgruppen einzelner Abfallanlieferungen abgeschätzt. Hierzu entleert der Anlieferer die geladenen Abfälle auf einer ebenen Fläche. Bei Sichtungen auf Entsorgungsanlagen mit Tiefbunker (relevant für MVA) ist eine Fläche zum Auskippen und Auseinanderziehen der Abfälle vor dem Bunker erforderlich. Von einem geschulten Fachkräfteteam wird das abgeladene und ausgebreitete Gut in Augenschein genommen und die stoffliche Zusammensetzung volumenmäßig abgeschätzt. Für die Ausbreitung des Materials ist bedarfsweise ein Radlader einzusetzen. Der Fahrzeuginhalt sollte ausgebreitet werden, dass eine Schichthöhe von 30 cm nicht überschritten wird. Verschlossene Gebinde, wie z. B. Müllsäcke, müssen geöffnet und ihre Inhalte ebenfalls bei der Datenaufnahme berücksichtigt werden.

Bei Sichtungen auf Entsorgungsanlagen sind neben der Einhaltung der dortigen Sicherheitsbestimmungen mindestens Sicherheitsschuhe und Kleidung in Warnfarbe (rot, orange, bei Dunkelheit mit Rückstrahlflächen) zu tragen. Weitere Details zum Arbeitsschutz können Anhang A.2 entnommen werden.

4.4 Siebung und Sortierung

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle erfolgt durch händische Sortierung nach Stoffgruppen für jede Schicht. Die Siebung erfolgt durch Flach- oder Trommelsiebe. Die Siebung und Sortierung des Abfalls muss von geschultem Personal unter Aufsicht eines erfahrenen Sortierleiters durchgeführt werden. Die Abfälle sind vor der Sortierung bei 10 Millimeter (mm) und 40 mm zu sieben. Hierfür können maschinelle Siebaggregate oder Sortiertische (beide mit Rundlochung) eingesetzt werden. Bei der Verwendung von Trommelsieben ist darauf zu achten, dass der Abfall zuvor keiner Zerkleinerung oder Trocknung unterzogen wird.

Aus der Fraktion > 10 bis 40 mm wird gemäß den Richtlinien der LAGA PN 98 (LAGA, 2001) eine repräsentative Teilmenge zur Sortierung ausgewählt. Pro Stichprobeneinheit sind mindestens 5 Liter 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. $1,1 \text{ m}^3$) 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 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 (LAGA, 2001) und im Labor das Verfahren der Glühverlustbestimmung anzuwenden.

Zur chemischen Analyse wird die Feinfraktion (≤ 10 mm) sorgfältig gemischt und homogenisiert. Anschließend wird eine repräsentative Teilmenge von 100 bis 200 Gramm entnommen.

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

Bei Sortierungen auf Entsorgungsanlagen sind neben der Einhaltung der dortigen Sicherheitsbestimmungen mindestens Sicherheitsschuhe und Kleidung in Warnfarbe (rot, orange, bei Dunkelheit mit Rückstrahlflächen) zu tragen. Weitere Details zum Arbeitsschutz können Anhang A.2 entnommen werden.

4.5 Stoffgruppenkatalog und Besonderheiten bei der Zuordnung

4.5.1 Stoffgruppenkatalog der Sichtung

Bei der Sichtung sind die Abfälle den unten tabellierten Stoffgruppen zuzuordnen und die Volumenanteile zu schätzen und zu dokumentieren.

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

Tabelle 2: Stoffgruppenkatalog der Sichtung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle 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	LMA	LMA verpackt/unverpackt
6-2 / 6-3	Gartenabfälle und sonstige Organik	Laub, Rasenschnitt, Strauchwerk, Äste, Wurzelwerk, Topfpflanzen, Schnittblumen, Kleintierstreu aus Holz, Hanfseile, Haare, Tierkadaver
7	Holz	Holzverpackungen, sonstiges Holz
8	Verbunde	Verbundverpackungen, sonstige Verbunde
9	Mineralik, Inertstoffe	Keramik, Steine, Bauschutt, Geschirr, Sonstige Mineralstoffe
10	Schadstoffe (Problemabfälle)	Batterien, Altmedikamente, Altchemikalien, Altöhlhaltige Materialien, sonstige schadstoffbelastete Materialien, Belastete Bauabfälle
11	Sonstige Abfälle	Alttextilien, nicht restentleerte Verpackungen (außer Lebensmittel), Stoffe anderweitig nicht genannt (a. n. g.)
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	gefüllte Staubsaugerbeutel, Wachs, Beutel mit Hundekot, Gummi, Leder, Tierkadaver, Teppiche, Matratzen, Fotos, Thermopapier, Backpapier, sonstige den anderen Stoffgruppen nicht zuordenbare Bestandteile
12	Fraktion ≤ 10 mm	Siebdurchgang ≤ 10 mm

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

4.5.2 Stoffgruppenkatalog der Sortierung

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

In Tabelle 3 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 3: Stoffgruppenkatalog der Sortierung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle 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, Beschlüge, Nägel, Bauteile aus magnetischen Metallen
2	NE-Metalle	NE-Metall-Verpackungen, sonstige NE-Metall-Gegenstände
2-1	NE-Verpackungen	Aluminium (Al)-Verpackungen, sonstige NE-Verpackungen
2-1-1	Al-Verpackungen	Getränke-, Konserven- und Aerosoldosen, Deckel aus Aluminium
2-1-2	Sonstige NE-Verpackungen	Getränke-, Konserven- und Aerosoldosen, Deckel aus anderen NE-Metallen
2-2	Sonstige NE-Metalle	Töpfe, Werkzeug, Schmuck, Beschlüge 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

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
3-2	PPK-Druckerzeugnisse	Zeitungen, Illustrierte, Briefumschläge, Schreibpapier, Bücher, Papierschnitzel, Bons (kein Thermopapier)
3-3	Sonstige PPK	Papiermöbel, Stehsammler, Pappordner, Geschenkpapier
4	Kunststoffe	Kunststoffverpackungen, sonstige Kunststoffe
4-1	Kunststoffverpackungen	Becher, Blister, Flaschen, Schalen, Verpackungstüten, Folien
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
6-1-1-1	Küchenabfälle	Obst- und ungekochte Gemüsereste, Kartoffel- und Eierschalen, Kaffeefilter, Teebeutel (kompostierbare LMA)
6-1-1-2	Nahrungsabfälle	Brot, Kuchen, Fleisch, Fisch, Knochen, gekochte Gemüseabfälle (nicht kompostierbare LMA)
6-1-1-3	Küchen-/Nahrungsabfälle, nicht differenziert	nicht zuordenbare unverpackte LMA (optional)
6-1-2	Lebensmittel (verpackt)	gefüllte/nicht restentleerte Lebensmittelverpackungen, volle Getränkebehältnisse, volle Konservendosen
6-2	Gartenabfälle	Laub, Rasenschnitt, Strauchwerk, Äste, Wurzelwerk, Topfpflanzen, Schnittblumen
6-3	Sonstige Organik	Kleintierstreu aus Holz, Hanfseile, Haare, Tierkadaver
7	Holz	Holzverpackungen, sonstiges Holz
7-1	Holzverpackungen	Camembertschachtel, Erdbeerkorbchen, Zigarrenkiste
7-2	Sonstiges Holz	Holzmöbel, Bretter, Spanplatten, lackierte Möbel, furniertes Holz
8	Verbunde	Verbundverpackungen, sonstige Verbunde
8-1	Verbundverpackungen	Fe-, NE, PPK- Verbunde, Flüssigkeitskartons

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
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	Alu-Butterfolie
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
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
10-1	Altbatterien	Batterien, Akkus
10-1-1	Gerätebatterien	Gerätebatterien
10-1-2	Leichte Verkehrsmittel (LV)-Batterien	LV-Batterien
10-1-3	Weitere Batterien	Weitere Batterien
10-2	Sonstige Schadstoffe	Altmedikamente, Altchemikalien, altöhlhaltige Materialien, sonstige schadstoffbelastete Materialien, belastete Bauabfälle (z. B. Asbest), sonstiger schwermetallhaltiger Abfall, Lacke und Farben,

Differenzierungsebene*	Stoffgruppe	Beispiele
		Quecksilberhaltige Leuchtmittel, organische Lösungsmittel und Kühlmittel
11	Sonstige Abfälle	Alttextilien, nicht restentleerte Verpackungen (außer Lebensmittel), Stoffe a. n. g.
11-1	Alttextilien	Bekleidung, Schuhe, Heimtextilien
11-1-1	Bekleidung	Bekleidungstextilien (inklusive Accessoires wie Mützen, Handschuhe, Schal)
11-1-2	Schuhe	alle Schuhe, auch Plastiksandalen, Hausschuhe
11-1-3	sonstige Textilien (ohne Teppiche und Matratzen)	Handtücher, Tischdecken, Vorhänge, Beutel, Lappen
11-2	Hygieneprodukte	Kinderwindeln, Damenhygieneartikel, Inkontinenzmaterial
11-3	Hygienepapiere, nicht als PPK verwertbar	Taschentücher, Servietten, Küchenpapier, Papierhandtücher
11-4	Nicht restentleerte Verpackungen (außer Lebensmittel)	nicht restentleerte Verpackungen außer Lebensmittel (Kosmetik, Reinigungsmittel-Inhalt schwerer als Verpackung)
11-5	Sonstige Abfälle	gefüllte Staubsaugerbeutel, Wachs, Beutel mit Hundekot, Gummi, Leder, Tierkadaver, Teppiche, Matratzen, Fotos, Thermopapier, Backpapier, sonstige den anderen Stoffgruppen nicht zuordenbare Bestandteile
12	Fraktion ≤ 10 mm	Siebdurchgang ≤ 10 mm

*Die Anzahl der Ziffern kennzeichnet die 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:

- ▶ 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 überwiegenden Stoffgruppe zuzuweisen

- ▶ Bei untypischen EAG, sogenannten „open-scope-Geräten“ - wie bspw. Möbeln oder Bekleidung mit Beleuchtung sollte beachtet werden, dass diese als Ganzes unter das ElektroG⁵ 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 Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden ist.

5 Auswertung und Hochrechnung (Anlagen-Ebene)

Im Anschluss an die Sichtungen und Sortierungen der Stichproben sind die Ergebnisse auszuwerten und auf Anlagen-Ebene hochzurechnen.

5.1 Allgemeine Daten für Auswertung und Hochrechnung der Sichtungs- und Sortiererergebnisse

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

- ▶ Umfang der Stichprobeneinheiten
- ▶ Anlageninput gemischt gewerbliche Siedlungsabfälle pro Jahr in Mg, differenziert nach Abfallschlüssel
- ▶ Schüttdichten der einzelnen Stoffgruppen

5.2 Umrechnung der volumenbezogenen Sichtungsdaten in massenbezogene Daten

Zur Umrechnung der volumenbezogenen Sichtungsdaten in massenbezogene Daten müssen zunächst die Schüttdichten für die einzelnen Stoffgruppen ermittelt werden. Die Schüttdichten sind durch Anwendung einer multiplen Regressionsanalyse zu gewinnen. Dabei errechnen sich die Schüttdichten der einzelnen Stoffgruppen nachfolgendem linearen Gleichungssystem in Gleichung 1.

$$M_i = \rho_i \cdot V_i = \rho_1 \cdot V_{i,1} + \rho_2 \cdot V_{i,2} + \dots + \rho_q \cdot V_{i,q} \quad \text{Gleichung 1}$$

M_i	<i>Nettomasse der i-ten Abfallanlieferung</i>
V_i	<i>Volumen der i-ten Abfallanlieferung</i>
ρ_i	<i>Schüttdichte der i-ten Abfallanlieferung</i>
$V_{i,q}$	<i>Volumen der i-ten Abfallanlieferung und der q-ten Stoffgruppe</i>
ρ_q	<i>mittlere Schüttdichte der q-ten Stoffgruppe</i>

Bei der multiplen Regressionsanalyse geht es darum, die Koeffizienten b_j (b_1 bis b_q) der allgemeinen Gleichung 2

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_q \cdot x_q \quad \text{Gleichung 2}$$

zu schätzen, wobei q die Anzahl der unabhängigen Variablen ist, die mit x_1 bis x_q bezeichnet sind; b_0 ist eine Konstante. Die unabhängigen (erklärenden) Variablen können dabei selbst untereinander korrelieren, was bei der Schätzung der Koeffizienten entsprechend berücksichtigt wird, um Scheinkorrelationen zu verhindern.

Zur Schätzung von b_1 bis b_q müssen nun n Beobachtungen der Merkmale y, x_1, \dots, x_n vorliegen. D. h. y ist ein mehrdimensionaler Vektor $y=(y_1, \dots, y_n)$; x_1 ist ein mehrdimensionaler Vektor

$x_i=(x_{i1},\dots,x_{in})$ usw. Folgendes lineares Modell wird in Gleichung 3 zur Schätzung der Koeffizienten b_j zugrunde gelegt:

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_{i1} + b_2 \cdot x_{i2} + \dots + b_q \cdot x_{iq} + e_i \quad \text{Gleichung 3}$$

Nach der Gauß'schen Methode der kleinsten Fehlerquadrate können die b_j nun so bestimmt werden, dass der Fehler e_i minimal wird. Die Berechnung der Schätzwerte für b_j erfolgt über ein Normalgleichungssystem und aufgrund der Komplexität wird mit Matrizen gerechnet. (Auf die Berechnungsgleichungen wird hier nicht näher eingegangen. Ausführliche Beschreibungen finden sich z. B. in (Hartung 1992). Neben Punktschätzern für b_j können auch Konfidenzintervalle für diese Parameter angegeben werden.

Im Berechnungsmodell für die Raumdichten entsprechen die Koeffizienten b_1 bis b_q aus dem allgemeinen Regressionsmodell den Raumdichten ρ_1 bis ρ_q . Der Koeffizient b_0 im allgemeinen Regressionsmodell ist im Berechnungsmodell für die Raumdichten gleich Null (daher ist $\sigma_0 = 0$ und entfällt). Die Raumdichten können mit dem Ansatz der multiplen linearen Regression geschätzt werden.

Alle Faktoren in Gleichung 1 mit Ausnahme der Schüttdichten der einzelnen Stoffgruppen ρ_q werden bei der Untersuchung aufgenommen und sind bekannt. Die Schüttdichten ρ_q werden in der multiplen Regressionsanalyse berechnet. Voraussetzung ist ein hinreichend großer Stichprobenumfang. Einzelne schwach besetzte Stoffgruppen können unterhalb der Signifikanzgrenze bleiben und müssen aus ähnlich gelagerten Untersuchungen geschätzt werden.

Die so errechneten Werte werden anhand von Schüttdichten aus vergleichbaren Untersuchungen auf Plausibilität geprüft und ggf. angepasst. Die Abfallzusammensetzung in Masseanteilen errechnet sich anschließend über die Schüttdichten der verschiedenen Stoffgruppen.

Es ist davon auszugehen, dass die Anlieferungen sowohl in verdichteter als auch unverdichteter Form angeliefert werden. Daher erfolgt eine Berechnung der Schüttdichten bei ausreichender Besetzung in beiden Kategorien für verdichtete und unverdichtete Abfallanlieferungen.

5.3 Hochrechnung der Sichtungsergebnisse

Nach der Methodik in Kapitel 5.2 werden die Massenanteile der untersuchten Stoffgruppen ermittelt und so die Zusammensetzung für jede gesichtete Anlieferung bestimmt. Die Inputzusammensetzung der Anlage wird über den arithmetischen Mittelwert der Zusammensetzungen der Anlieferungen, gewichtet nach der Stichprobenmenge (entspricht Lademasse des gesichteten Fahrzeugs), bestimmt.

5.4 Hochrechnung der Sortiererergebnisse

. Die Inputzusammensetzung der Anlage wird über den arithmetischen Mittelwert der Zusammensetzungen der Anlieferungen, gewichtet nach der Stichprobenmenge (entspricht Masse der sortierten Probe), bestimmt.

5.5 Verknüpfung der Daten aus der manuellen Sortierung mit den Ergebnissen der Sichtung

Die mittels Sortierung ermittelte Zusammensetzung auf der 2. und 3. Differenzierungsebene wird als Schablone für die mittels Sichtung bestimmte Zusammensetzung auf der 1. Differenzierungsebene verwendet. Im Ergebnis kann so die Zusammensetzung der insgesamt in VBA und MVA behandelten gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle bis zu 3. Differenzierungsebene ermittelt werden. Durch Multiplikation der Massenanteile mit den jeweiligen Gesamtinputmengen können sodann die absoluten Massen für jede untersuchte Stoffgruppe berechnet werden.

Es ist ergänzend zu prüfen, ob die Ergebnisse der Sortierung für die 1. Differenzierungsebene von den Ergebnissen der Sichtung abweichen. Ermittelte Abweichungen sind zu quantifizieren und zu diskutieren. Aufgrund der deutlich höheren Stichprobenanzahl der Sichtung sind die Sichtungsergebnisse maßgebend für die Auswertung und Hochrechnung. Die Sortierung stellt hingegen eine orientierende Untersuchung dar.

6 Dokumentation und Ergebnisbericht (Anlagen-Ebene)

In der Dokumentation sind die Anlagen bei denen Sichtungen und Sortieren erfolgt sind, kurz zu beschreiben. Für die Dokumentation der Sichtungen und Sortierungen von Anlieferungen ist zudem die Abfallmenge und die Anzahl und Art der beprobten Fahrzeuge bzw. Abfallbehälter anzugeben. Die aus der Sichtung und Sortierung erhaltenen Sichtungs- und Sortiererergebnisse für jeden Anlagenstandort prozentual (Vol.- und Masse-%) und absolut (Kilogramm (kg)/Anlieferung) sind dem Bericht separat auf einem Datenträger im Excel- oder csv-Format beizulegen.

Im Anhang sind die aus der Sichtung und Sortierung erhaltenen Ergebnisse für jede Stichprobe (Sichtung und Sortierung) prozentual (Masse-%) und gesamt (kg/Stichprobe) zu hinterlegen.

Eine schematische Ergebnisdarstellung bei a-Anzahl an Stoffgruppen der ersten Differenzierungsebenen und einer b-Anzahl an Stoffgruppen der zweiten Differenzierungsebenen nach Stichprobe (1 bis d) ist in Tabelle 4 gezeigt. Werden weitere Differenzierungsebenen benötigt, können diese Tabellen problemlos nach diesem Schema erweitert werden.

Tabelle 4: Darstellung der Ergebnisse der Anlagenebene nach Stoffgruppen und Stichproben

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Stichprobe 1 (Einheit) ¹	Stichprobe 2 (Einheit) ¹	Stichprobe d (Einheit) ¹	Anlage 1 (Einheit) ¹
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 Einheit kann für die Ergebnisdarstellung für eine Kampagne Masse-% und kg/Stichprobe eingesetzt werden, für Anlagengesamtergebnisse Masse-%, und Mg/a.

7 Qualitätssicherung

Grundsätzlich sind zur Qualitätssicherung in Zusammenhang mit der beschriebenen Methodik und den erhobenen Daten folgende Maßnahmen durchzuführen:

- ▶ Durchführung der Sichtungen und Sortierungen durch geschultes Fachpersonal (z. B. Fachkunde nach LAGA PN 98)
- ▶ Gegenüberstellung von Sichtungs- und Sortiererergebnissen
- ▶ Plausibilitätsprüfung von Sichtungs- und Sortiererergebnissen auf Basis historischer Analysen

Ein Kriterium für die Beurteilung der Qualität der Abfalluntersuchung stellt weiterhin die Berechnung des Zufallsfehlers nach Vorliegen der Untersuchungsergebnisse dar. Vereinfachend kann hierzu die Varianz der Stichprobenergebnisse 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 methodischer Fehler hindeuten und sollte daher einer Überprüfung unterzogen werden.

Die Berechnung des Stichprobenfehlers wird für die stoffliche Zusammensetzung je Anlage anhand einer Berechnung des Unsicherheitsbereiches durchgeführt. Anhand dieser Berechnung der statistischen Kennziffern kann eine Bewertung der Ergebnisse für jede Anlage dokumentiert werden. Hierbei ist in Bezug auf die Sichtungsergebnisse, wie nachfolgend erläutert, vorzugehen.

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 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 4 abgebildet.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n \dot{x}_i) \cong \hat{X} \qquad \text{Gleichung 4}$$

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

In der folgenden Gleichung 5 wird eine Varianzberechnung auf Basis der Stichprobenwerte der untersuchten Anlage abgebildet, die als Obergrenze für den Anlagen-Schätzwert angenommen werden kann. Die genaue Berechnung für das mehrstufige geschichtete Modell ist aufwendig und kann daher durch die beschriebene Näherung ersetzt werden.

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad \text{Gleichung 5}$$

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

Gleichung 6 gibt die Formel wieder, um den Variationskoeffizient zu bestimmen, Gleichung 7 den relativen Fehler der Ergebnisse.

$$\text{varkoeff}(x_i) = \frac{\sqrt{\sigma_{\bar{x}}^2}}{\bar{x}} \quad \text{Gleichung 6}$$

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

$$\varepsilon_{x_i} = \text{varkoeff}(x_i) \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \quad \text{Gleichung 7}$$

ε_{x_i} Relativer Fehler je Anlage

α Irrtumswahrscheinlichkeit

Bei starken Abweichungen der Ergebnisse zwischen dem geplanten zulässigen Fehler und dem berechneten Fehler können folgende aufgelistete Fehlerquellen ursächlich sein und entsprechend eingeordnet und gegebenenfalls korrigiert werden. Dazu gehören die angenommenen Schütt- und Raumdichten zur Umrechnung von Volumen auf Masse, fehlerhafte Wiegedaten oder Ausreißer in der Anlieferung, welche auf Sondereffekte, wie zum Beispiel Unregelmäßigkeiten im Gewerbebetrieb (Anfallort), zurückzuführen sind. Nach gründlicher Prüfung und ggf. Vergleich mit früheren Untersuchungen können diese Ausreißer ggf. ausgeglichen werden oder die betroffene Stichprobeneinheit muss aus der Analyse ausgeschlossen werden.

Teil B: Methodenbeschreibung zur Zusammenführung und Hochrechnung der Untersuchungsergebnisse je Schicht und für Gesamt Deutschland

8 Untersuchungsplanung (Bundesebene)

Die Ergebnisse aus den Sortierungen und Sichtungen auf Anlagen-Ebene sind auf Bundesebene hochzurechnen. Hierfür sind allgemeine und untersuchungsspezifische Planungsdaten zu erheben.

8.1 Allgemeine Planungsdaten

Zur Bestimmung des Gesamtaufkommens und der Entsorgungswege der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle sind keine vorbereitenden Datenerhebungen erforderlich. Die benötigten Daten können über das Online-Portal des Statistischen Bundesamts bezogen werden. Die Methodik zur Ermittlung des Gesamtaufkommens und der Inputmengen in VBA sowie in MVA anhand dieser Daten wird in Kapitel 9.3 beschrieben.

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

- ▶ Anzahl und Umfang der Stichproben (Sichtungen, Sortierungen) je Anlage
- ▶ Jahresmenge gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle
- ▶ Jahresmenge gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle je Schicht (Nord, Ost, Süd, West)
- ▶ Inputmengen gewerblicher Siedlungsabfälle nach Anlagentyp (VBA, MVA)

8.2 Untersuchungsspezifische Planungsdaten für die Sichtung und Sortierung

8.2.1 Schichten (Regionen)

Die Zusammensetzung und Menge der Abfälle werden insbesondere durch die Anzahl, die Branche bzw. das Tätigkeitsfeld, die Betriebsführung sowie durch die örtlichen Gegebenheiten (Platzverfügbarkeit) der Gewerbebetriebe (Abfallerzeuger) beeinflusst. Zu diesen Faktoren liegen keine Informationen vor und eine Erhebung würde sich als kaum praktikabel erweisen. Selbst wenn eine Clusterung von Gewerbebetrieben auf Basis dieser Faktoren möglich wäre, würde es an einem sinnvollen Gleichwert, über den eine Hochrechnung der Stichprobenergebnisse auf die jeweilige Schicht (Cluster) erfolgen könnte, mangeln. Die Verwendung von Gleichwerten wie Abfallmenge pro Mitarbeitenden oder eine über den Umsatz des Gewerbebetriebes normierte Abfallmenge sind für eine Hochrechnung nicht zweckmäßig. Eine Schichtung nach Siedlungs- und Bebauungsstrukturen, wie sie in Analysen von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (öRE) überlassenen Restabfällen üblich ist, ist demnach für die Untersuchung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle nicht möglich.

Vor diesem Hintergrund wird die Menge der bundesweit anfallenden gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle nicht über eine Hochrechnung der Sichtungs- und Sortiererergebnisse bestimmt, sondern aus Daten des Statistischen Bundesamts errechnet (vgl. Kap. 9.3). Die Zusammensetzung hingegen wird über die durchgeführten Sichtungen und Sortierungen abgeschätzt.

Eine Schichtung der Grundgesamtheit ist ausschließlich für die Bestimmung der Zusammensetzung der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle vorgesehen. Um etwaige regionale Unterschiede hinsichtlich der Zusammensetzung zu berücksichtigen, sind die Anlagenstandorte nach Regionen (Nord-, Ost-, Süd- und Westdeutschland) zu schichten.

Dabei gilt folgende Zuordnung der Bundesländer zu den genannten vier Schichten:

- ▶ Nord: Hamburg, Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Bremen
- ▶ Ost: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Sachsen
- ▶ Süd: Bayern, Baden-Württemberg
- ▶ West: Nordrhein-Westfalen, Saarland, Rheinland-Pfalz, Hessen

Die Einzugsgebiete der einzelnen Anlagen sind marktwirtschaftlich geprägt und können in ihrer Ausdehnung stark variieren. Eine weitere Differenzierung der o. g. Schichten hat nicht zu erfolgen.

8.2.1.1 Notwendiger Stichprobenumfang für die Sichtung

Der notwendige Stichprobenumfang der Grundgesamtheit bzw. pro Teilgesamtheit ist abhängig von:

- ▶ der für die zu erzielenden Ergebnisse geforderten Genauigkeit (absolut oder relativ),
- ▶ der für die zu erzielenden Ergebnisse geforderten statistischen Sicherheit und
- ▶ der natürlichen Streuung um den Erwartungswert (Varianz der Einzelwerte).

Als Zielgröße für die Abfallmenge auf Bundesebene wird ein Konfidenzintervall mit einer Breite von $\pm 10\%$ um den geschätzten Wert (zulässige Abweichung), bei einem Konfidenzniveau von 95 % festgelegt. Basierend auf Erfahrungswerten wird bei dem vorgesehenen Stoffgruppenkatalog (vgl. Kapitel 4.5.1) und dem zu beprobenden Entsorgungspfad von einem natürlichen Variationskoeffizienten von 0,6 ausgegangen. Aus den definierten Anforderungen und getroffenen Annahmen ergibt sich eine Anzahl von 144 Anlieferungen, die je Anlage zu sichten sind. Weiterhin sind je Schicht (Region Nord, Ost, Süd, West) und Anlagentyp (VBA, MVA) an zwei Anlagenstandorten Sichtungen durchzuführen. In Summe sind somit für jeden Anlagentyp verteilt auf acht Anlagenstandorte 1.152 Sichtungen durchzuführen. Es ergibt sich eine Gesamtzahl von 2.304 erforderlichen Sichtungen über alle vier Schichten und beide Anlagentypen.

Für die Sortierungen und Sichtungen auf Anlagen-Ebene sind je zu untersuchender Schicht (Region) zwei Anlagenstandorte für jeden der beiden Anlagentypen zufällig auszuwählen.

Der notwendige Stichprobenumfang für die Sichtung ist nach Schichten in Tabelle 5 dargestellt.

8.2.1.2 Notwendiger Stichprobenumfang für die Sortierung

Zur Begrenzung des Aufwands sind nicht sämtliche einer Sichtung unterzogenen Anlieferungen auch im Rahmen einer händischen Sortierung zu analysieren.

Für eine hinreichende Genauigkeit ist es ausreichend, sechs Anlieferungen je Anlage zu sortieren. Somit haben in Summe 48 Sortierungen je Anlagentyp zu erfolgen. Bei zwei Anlagentypen ergibt sich eine Gesamtzahl von 96 Sortierungen.

Der notwendige Stichprobenumfang für die Sortierung ist nach Schichten in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Notwendiger Stichprobenumfang für Sichtung und Sortierung nach Schichten

Region Untersuchungen	Nord	Ost	Süd	West	Summe Stichproben-einheiten
Anlagen	2 MVA 2 VBA	2 MVA 2 VBA	2 MVA 2 VBA	2 MVA 2 VBA	8 MVA / 8 VBA Gesamt: 16
Sichtungen	144 je Anlage	144 je Anlage	144 je Anlage	144 je Anlage	576 je Region Gesamt: 2.304
Sortierungen	6 je Anlage	6 je Anlage	6 je Anlage	6 je Anlage	24 je Region Gesamt: 96

9 Auswertung und Hochrechnung

Aus den Ergebnissen der Sichtungen und Sortierungen auf Anlagen-Ebene erfolgt im Anschluss eine Hochrechnung der Ergebnisse auf die Schichten (Regionen) und anschließend auf Gesamtdeutschland.

9.1 Hochrechnung der Sichtungsergebnisse

Für die Hochrechnung der anlagenbezogenen Ergebnisse auf Deutschland insgesamt wird der arithmetische Mittelwert über die Inputzusammensetzungen der untersuchten Anlagenstandorte gebildet. Dabei erfolgt eine Gewichtung der einzelnen Zusammensetzungen anhand des Anteils der Behandlungsmenge der Anlage an der Gesamtbehandlungsmenge des Anlagentyps.

9.2 Hochrechnung der Sortierergebnisse

Für die Hochrechnung der Ergebnisse auf Deutschland insgesamt wird der arithmetische Mittelwert über die Zusammensetzungen der untersuchten Fahrzeugladungen gebildet. Dabei erfolgt eine Gewichtung der einzelnen Zusammensetzungen anhand der Lademasse des untersuchten Fahrzeugs.

9.3 Ermittlung des Gesamtaufkommens und der Inputmengen je Anlagentyp

Zur Bestimmung des Gesamtaufkommens und der Entsorgungswege der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle sind über das Online-Portal des Statistischen Bundesamts für die ASN 20030100, 20030101, 20030102, 200399 und 15010600 Daten zur Abfallentsorgung zu beziehen. Die Datenabfrage über das Portal erfolgt über den Code „32111-0004 Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre, Anlagenart, Abfallarten“.

Das Gesamtaufkommen der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle in Deutschland setzt sich aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen (ASN 20030102) und anteilig aus den Abfallarten ASN 20030100 (gemischte Siedlungsabfälle nicht differenzierbar) und AVV 200399 (Siedlungsabfälle a.n.g.) zusammen. Für die Ermittlung des Aufkommens wird auf die im Rahmen des UBA-Forschungsprojektes zu Aufkommen, Verbleib und Ressourcenrelevanz von Gewerbeabfällen entwickelte Methodik zurückgegriffen (Dehne et al. 2011).

Die Mengen der undifferenzierten Abfallarten 20030100 und 200399 werden summiert und entsprechend dem Mengenverhältnis von ASN 20030101⁶ zu ASN 20030102 aufgeteilt. Die daraus ermittelte gewerbliche Abfallmenge und die Abfallmenge ASN 20030102 werden addiert und bilden die Gesamtmenge der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle. Da gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle in der Praxis auch als Verpackungsgemische entsorgt werden, sind für das Gesamtaufkommen zudem die in der Statistik zur Abfallentsorgung dem ASN 15010600 (gemischte Verpackungen nicht differenzierbar) zugeordneten Mengen zu berücksichtigen.

Die beschriebene Vorgehensweise erfolgt für alle in der Statistik definierten Gruppen von Entsorgungsanlagen (Anlagentypen). Daraus ergibt sich die Gesamtinputmenge an gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen je Anlagentyp. Die Summe aller Inputmengen entspricht

⁶ AVV 20 03 01: Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle gemeinsam über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (sog. Haus- und Geschäftsmüll)

demnach dem Gesamtaufkommen in Deutschland. Die Anlagentypen “Sortieranlagen” und “Thermische Abfallbehandlungsanlagen” sind vereinfachend den für die vorliegende Untersuchung benötigten Typen VBA und MVA gleichzusetzen.

9.4 Zusammenführung der Ergebnisse aus der Sichtung und Sortierung

Analog zum Vorgehen auf Anlagenebene wird auch auf der Bundesebene die mittels Sortierung ermittelte Zusammensetzung auf der 2. und 3. Differenzierungsebene als Schablone für die mittels Sichtung bestimmte Zusammensetzung auf der 1. Differenzierungsebene verwendet. Im Ergebnis kann so die Zusammensetzung der insgesamt in VBA und MVA behandelten gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle bis zu 3. Differenzierungsebene ermittelt werden. Durch Multiplikation der Massenanteile mit den jeweiligen Gesamtinputmengen können sodann die absoluten Massen für jede untersuchte Stoffgruppe berechnet werden.

10 Dokumentation und Ergebnisbericht

Vor der Darstellung der ermittelten Ergebnisse der Bundesebene im Ergebnissteil ist eine Dokumentation der vorhandenen Rahmenbedingungen nötig, um die methodische Transparenz der Hochrechnung zu gewährleisten. In der Dokumentation sind die ausgewählten Anlagen kurz zu beschreiben, die gesichtete und sortierte Abfallmenge sowie die Anzahl der gesichteten und sortierten Anlieferungen anzugeben, jeweils für jede Anlage.

Im Ergebnissteil des Berichtes sollen die Ergebnisse der Hochrechnung auf die vier untersuchten Schichten (Regionen) sowohl prozentual (Masse-%), als auch absolut (Mg/a) für alle Stoffgruppen dargestellt werden. Die auf Bundesebene hochgerechnete Abfallzusammensetzung ist nach Schicht (Region) und Stoffgruppen prozentual (Masse-%) und absolut (Mg/a) darzustellen.

Eine schematische Ergebnisdarstellung bei a-Anzahl an Stoffgruppen der ersten Differenzierungsebenen und einer b-Anzahl an Stoffgruppen der zweiten Differenzierungsebene je Schicht bzw. je Anlage einer Schicht (1 bis e) ist in Tabelle 6 gezeigt. Werden weitere Differenzierungsebenen benötigt, können diese Tabellen problemlos nach diesem Schema erweitert werden.

Tabelle 6: Darstellung der Ergebnisse der Anlagenstandorte nach Stoffgruppen und Region

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	Anlage 1 ¹ (Einheit) ²	Anlage 2 ¹ (Einheit) ²	Anlage e ¹ (Einheit) ²	Schicht (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 Anlage oder der Anlagenstandort eingesetzt werden.

[2] Als Einheit kann für die Ergebnisdarstellung Masse-% und kg/Anlieferung eingesetzt werden, für Jahresgesamtergebnisse Masse-% und Mg/a.

Analog zum Vorgehen zur Hochrechnung der Ergebnisse von der Anlagenebene auf die verschiedenen Schichten erfolgt im Anschluss die Hochrechnung auf Bundesebene wie in Tabelle 7 und Tabelle 8 schematisch dargestellt.

Tabelle 7: 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 Schicht eingesetzt werden.

[2] Als Einheit kann für die Ergebnisdarstellung Masse-% und kg/Anlieferung eingesetzt werden, für Jahresgesamtergebnisse Masse-% und Mg/a.

Tabelle 8: Darstellung der Gesamtergebnisse auf Bundesebene nach Stoffgruppen

Stoffgruppennummer	Stoffgruppenbezeichnung	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

Die Ergebnisse auf Bundesebene können aus den Sichtungsergebnissen auf Anlagen-Ebene abgeleitet werden. Wenn die Unsicherheitsbereiche auf der Anlagen-Ebene eingehalten werden, ist zu erwarten, dass diese auch auf Bundesebene durch die größere Stichprobenanzahl eingehalten werden. Basierend auf Erfahrungswerten aus anderen Untersuchungen und Analysen wird angenommen, dass die Varianz auf Bundesebene bei maximal 10 % liegt.

12 Quellenverzeichnis

Argus (2008): Untersuchung zur Menge und Zusammensetzung der beseitigten Gewerbeabfälle in Berlin 2008

BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2017): Methodenentwicklung zur Bestimmung der Sortenreinheit von Bioabfällen.; HUK-Dateien, 1. Auflage Juni 2017. Verfasser: Intecus GmbH.

https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/HUK-Dateien/2018/Q2_2018/Abschlussbericht-final.pdf (abgerufen am 20.03.2025).

Dehne, I.; Kanthak, M.; Oetjen-Dehne, R. (2011): Aufkommen, Verbleib und Ressourcenrelevanz von Gewerbeabfällen; UBA-Texte 19/2011; Dessau-Roßlau

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aufkommen-verbleib-ressourcenrelevanz-von> (abgerufen am 20.03.2025).

Hartung, E. (1992): Multivariate Statistik: Lehr- und Handbuch der Statistik, 4. Auflage; 1992; S. 81ff

Knappe, F.; Muchow, N.; Oetjen-Dehne, R.; Buschow, N.; Kaiser, F. (2023): Erarbeitung von Grundlagen für die Evaluierung der Gewerbeabfallverordnung; UBA-Texte 47/2023; Dessau-Roßlau

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-von-grundlagen-fuer-die-evaluierung-der> (abgerufen am 20.03.2025).

LAGA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall [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 20.03.2025)

LAGA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall [Hrsg.] (2019): Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34 „Vollzugshinweise zur Gewerbeabfallverordnung“ Anforderungen an Erzeuger und Besitzer von gewerblichen Siedlungsabfällen, sowie bestimmten Bau- und Abbruchabfällen, an Betreiber von Vorbehandlungs- und Aufbereitungsanlagen. https://www.laga-online.de/documents/m34_vollzugshinweise_gewabfv_endfassung_11022019_inh-red_aenderung_1554388381.pdf (abgerufen am 20.03.2025).

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

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

Ministerialblatt der Landesregierung Rheinland-Pfalz. (2023): 75. Jahrgang Nr. 12. Mainz. [231115 GAP-SP_Ministerblatt Nr.12.pdf](#) (abgerufen am 20.03.2025).

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

A Anhang

A.1 Technische Voraussetzungen

- ▶ kalibrierbare 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 Mitarbeitenden 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 Sichtungen und 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.