



---

## **SORTIERANALYSEN IM VERPACKUNGSBEREICH**

<b>1</b>	<b><i>Allgemeine Rahmenbedingungen</i></b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><i>Art und Umfang der Datenerhebung am Beispiel durchgeführter Sortieranalysen im Verpackungsbereich</i></b>	<b>3</b>
2.1	<b>Vorbereitung der Sortieranalyse von Verpackungsabfällen</b>	<b>3</b>
2.2	<b>Umfang der Sortieranalyse</b>	<b>4</b>
2.3	<b>Durchführung der Sortieranalyse</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b><i>Ergebnisse und Auswertung der Daten der Sortieranalysen</i></b>	<b>6</b>
3.1	<b>Ermittlung der Durchschnittsdichte</b>	<b>7</b>
3.2	<b>Ermittlung der Sortenreinheit bezogen auf den anrechenbaren Verpackungsanteil</b>	<b>7</b>

# 1 Allgemeine Rahmenbedingungen

In der Vergangenheit wurden einige Untersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel, die Zusammensetzung sowie das Aufkommen von Abfällen aus Haushalten aber auch Abfälle aus Gewerbebetrieben, Verwaltungseinrichtungen oder Dienstleistungen die entweder gemeinsam mit den in privaten Haushalten anfallenden Abfällen (Geschäftsmüll) oder getrennt (hausmüllähnliche Gewerbeabfälle) eingesammelt und transportiert werden, zu ermitteln.

Die Untersuchung von Abfallstoffen erfolgt über eine Vielzahl von Abfallströmen mit unterschiedlichen Zielsetzungen. Verlässliches Datenmaterial kann dabei nur durch geeignete Probenahmeverfahren gewonnen werden.

Die Probenahme aus Abfällen lässt sich in zwei Bereiche unterteilen:

- a) Probenahme bei Abfalluntersuchungen zur Bestimmung von Menge und Zusammensetzung
- b) Probenahme für analytische Zwecke (physikalische und chemische Analysen)

Mit Fragen der Abfallzusammensetzung werden sowohl entsorgungspflichtige Körperschaften, Betreiber von Sortieranlagen, Makler von Abfällen zur Verwertung, Verwerter von Sortierfraktionen als auch Aufsichtsbehörden konfrontiert.

In folgenden Bereichen werden Abfallsortierungen durchgeführt:

- Überprüfung von Qualitätskriterien (Sortenreinheit)
- Bewertung von Abrechnungsverfahren (Entsorgungskostenoptimierung)
- Begutachtung und Optimierung von Sortierverfahren (Bestimmung des Trennvermögens von Abfallsortieranlagen) und Probenahmeverfahren
- Kontrolle und Überwachung gesetzlicher Regelungen
- Ermittlung und Beurteilung der Behandlungs- und Beseitigungsmöglichkeiten
- Eingangskontrollen bei Abfallbeseitigungsanlagen
- Ermittlung von Abfallzusammensetzungen
- Ermittlung von Störstoffen in Wertstofffraktionen und Bestimmung von Wertstoffen in Abfällen.

An Abfalluntersuchungen werden zielabhängig die unterschiedlichsten Anforderungen gestellt.

Für eine sinnvolle Anwendung der Statistik-Methoden wie z.B. Stichprobenplanung, Hochrechnung, Fehlerrechnung ist eine stringente Definition des Untersuchungsgegenstandes erforderlich. Untersuchungsgegenstand der im Folgenden beschriebenen Erhebung war die Ermittlung der Sortenreinheit bzw. die Ermittlung der Durchschnittsdichte.

Für eine präzise Probenahmestrategie bzw. Probenahmemethode ist eine eindeutige Charakterisierung des zu beprobenden Gutes unbedingt erforderlich. In diesem Zusammenhang stellt die Inhomogenität des Materials ein nicht zu vernachlässigendes Problem dar.

## **2 Art und Umfang der Datenerhebung am Beispiel durchgeführter Sortieranalysen im Verpackungsbereich**

### **2.1 Vorbereitung der Sortieranalyse von Verpackungsabfällen**

Um eine problemlose Durchführung der Sortieranalysen vor Ort zu gewährleisten, sind einige Vorbereitungen notwendig. In diesem Zusammenhang ist die Klärung der nachstehenden Fragestellungen erforderlich, um den Umfang der Sortieranalyse zu ermitteln:

- Was soll untersucht werden (Aufgabenstellung definieren)?
- Was wird sortiert? Wie viele und welche Fraktionen werden sortiert?
- Wie liegt das zu analysierende Material vor (gepresst/ungepresst)?
- Wie ist die Materialzusammensetzung (homogen/inhomogen)?
- Welche Ergebnisse soll die Analyse liefern?
- Welchem Verwendungszweck dienen die Analysedaten (Hochrechnung von Wertstoff-/Schadstoffpotentialen; Bewertung bestehender Verwertungssysteme)?

In Abhängigkeit des jeweiligen Verwendungszwecks muß die Analyse mehr oder weniger detailliert die abfallwirtschaftlichen Spezifika berücksichtigen. Bei der Planung und Vorbereitung der Sortieranalysen sind Korrelationen von Einflußparametern zu prüfen (z.B. jahreszeitliche Schwankungen, Behältervolumen, Abfuhrintervall, etc.).

Für die Durchführung der Sortieranalysen sind im Vorfeld Maßnahmen zu ergreifen, um sowohl die technischen und personellen als auch die arbeitsschutzbezogene Voraussetzungen zu gewährleisten:

- Einsammlung und Kennzeichnung der jeweiligen Entsorgungsbehältnisse der vorbestimmten Betriebe nach abgestimmtem Zeitplan
- Bereitstellung eines überdachten und windgeschützten Sammel-/Sortierplatzes
- Geeignete Staplerwaage/Wägeeinrichtung (Messgenauigkeit für Stofffraktionen bis 6kg: 0,2g; für schwerere Stofffraktionen bis 200kg: 100g bzw. für Fraktionen bis 1000kg beträgt das Messintervall 0,5 bzw. 1kg)
- Einweisung des Personals hinsichtlich der Datenaufnahme.

Abfallanalysen geben über die Zusammensetzung von Abfällen sowohl in stofflicher Hinsicht (Korngröße, Stoffgruppen, Verwertbarkeit bzw. Störstoffanteil) als auch bezüglich chemischer und physikalischer Eigenschaften (z.B. Wassergehalt, spezifisches Gewicht, Verdichtbarkeit, Schadstoffgehalt, Glühverlust etc.) Aufschluß.

Die Anforderungen an die Abfallanalysen richten sich nach den speziellen Erfordernissen der durchzuführenden Erhebungen:

- **Bestimmung der Masse**  
Die Bestimmung der Masse erfolgt durch Verwiegung der anfallenden Verpackungsmaterialien in den jeweiligen Untersuchungsgebieten. Sind Vollerhebungen über den Untersuchungszeitraum nicht realisierbar, so sind repräsentative Teilerhebungen zulässig, wobei die Abfallmasse durch stichprobenartige, repräsentative Teilverwiegungen bestimmt wird.
- **Bestimmung der Zusammensetzung**  
Die Bestimmung der Zusammensetzung sollte aus Vergleichs- und Praktikabilitätsgründen zeitgleich mit der Bestimmung der Masse erfolgen. Dabei werden die Abfallfraktionen händisch sortiert und den jeweiligen Fraktionen zugeordnet. Sortieranalysen liefern im Vergleich zu Sichtungen genauere Untersuchungsergebnisse.

Grundgesamtheit für die Auswahl der Stichprobe zur Erhebung der Behälterkenndaten und der stofflichen Zusammensetzung der Abfälle ist die Gesamtzahl der an die Entsorgung angeschlossenen Anfallstellen.

Bei der Auswahl des Untersuchungszeitraumes sind jahreszeitliche Schwankungen zu berücksichtigen. Empfehlenswert sind daher mehrere jahreszeitlich versetzte Untersuchungen. Auch sollten Zeiträumen mit Anfall extrema (wie z.B. Urlaubszeit) berücksichtigt werden.

## 2.2 Umfang der Sortieranalyse

Um einen heterogenen Restabfall beschreiben zu können, erscheint eine Sortieranalyse unerlässlich. Dabei ist es zweckmäßig, den Abfall in bekannte Stoffgruppen einzuteilen. In den durchgeführten Untersuchungen erfolgte analog der Richtlinie „Abfallanalytik Sachsen“ eine Einteilung nach folgenden Stoffgruppen:

- Papier/Pappe/Kartonage
- Kunststoffe
- Metalle
- Glas.

Die VP-Fractionen werden materialbezogen zur Ermittlung des anrechenbaren VP-Anteils erfasst nach:

- Störstoffanteil (Fremdmaterial) einschließlich Restinhaltsmengen von Behältnissen
- Stoffgleiche Nichtverpackungen
- Masse der Materialfraktion, Gesamtbehältervolumen und Masse (Dichtefaktor)
- Anteil identifizierbarer „Grüner Punkt“ - lizenzierter Verpackungen
- Zuordnung von Verbunden zu den Hauptmaterialkomponenten nach Kriterien der VerpackV unter Angabe des Verbundanteils.

Die sortierten Fraktionen werden mittels Digitalkamera dokumentiert. Die untersuchten Sammelcontainer werden händisch entleert und in die o.a. Fraktionen sortiert, die im Anschluß daran getrennt verwogen wurden.

Bei der Materialbewertung wurden folgende Unterscheidungen vorgenommen:

**Verpackungsmaterialien:** Bei der Sortierung wurde, soweit möglich, gegenüber „DSD- gekennzeichneten Verpackungen“ differenziert.

**Stoffgleiche Nichtverpackungen:** Als stoffgleiche Nichtverpackungen fanden sich in der Fraktion Papier/Pappe/Kartonagen insbesondere Prospektmaterial, Büro- und Rechnungspapier, Hygienepapier, Lackierereiabdeckungen und in der Fraktion PE-Folie Schonbezüge, Fußraumabdeckungen, Abfallsäcke sowie Reifentüten.

**Nicht stoffgleiche Nichtverpackungen (andere Abfälle):** Als stofffremd in der Sammelfraktion anzusehende Abfälle wurden gesondert erfaßt und dokumentiert.

**Kombinationsverpackungen,** deren Materialanteile händisch trennbar waren, wurden den ihnen zugehörigen Material-Gruppen gem. VerpackV mit ihrem Mengenanteil zugeordnet.

**Verbundverpackungen:** Als **Verbundstoffe** wurden entsprechend der Verpackungsverordnung Materialien klassifiziert, die

1. aus mindestens zwei Materialgruppen bestehen, die
2. nicht händisch trennbar sind und
3. deren Minderheitskomponente mindestens 5 Masse-% des Gesamtgewichts der Verpackung ausmachen.

Neben den sortierten Fraktionen wurden im Hinblick auf spezielle Fragestellungen folgende Aspekte differenziert erfasst:

- DSD-Lizensierung - Kennzeichnung mit "Grünem Punkt"
- Gefahrstoffkennzeichnungen
- Produktbezeichnung
- Produkthersteller.

In diesem Zusammenhang wurde gleichzeitig überprüft, inwieweit eine

- korrekte Zuordnung der Verpackung zur Entsorgungsfraction erfolgte und wie sich
- die Restbefüllung/Entleerung der untersuchten Behälterverpackungen

darstellt.

Bei Behälterverpackungen, die nicht restentleert sind, wird der Restinhalt bestimmt und separat ausgewiesen.

Parallel zur Bestimmung der Abfallmasse und der –zusammensetzung wurden auch folgende Kenngrößen berücksichtigt: Füllgrad der Sammelbehälter (Messgenauigkeit 10%), Abfallmasse der untersuchten Behälter (vgl. Messintervalle der eingesetzten Waagen) sowie die Raum- und Schüttdichte der Abfälle.

Der Untersuchungsumfang lehnt sich an ursprüngliche Empfehlungen der öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen für Verpackungsentsorgung an. Danach sollen in sich geschlossene repräsentative Untersuchungen von Abfallsortierungen mindestens einen Anteil von 1% der beteiligten Anfallstellen und 0,1% der zu erwartenden Entsorgungsmenge umfassen. Vor diesem Hintergrund und unter Beachtung bereits vorliegender Erkenntnisse insbesondere zur Streuung von Sortierergebnissen wurden die entsprechenden Eckdaten ermittelt, die den jeweiligen Untersuchungsumfang der Sortieranalysen vorgeben. Die zur Sortierung bestimmten Sammelbehälter wurden solange untersucht, bis die Eckdaten bzgl. Anzahl der Anfallstellen/Händlerbetriebe und Mindestbehälterzahl und Mindestmasse erfüllt waren.

Einer evtl. vorhandenen Clusterbildung wurde dadurch Rechnung getragen, daß adäquate Anteile der Betriebe am Clusterschnitt in die Untersuchung einbezogen wurden (z.B. Bildung von Clustern nach Werkstattdurchsatz oder Ersatzteileinkauf).

Entsprechend den Vorgaben hinsichtlich des Sortierumfangs wurden die an den Sortiertagen eintreffenden Sammelbehälter aufgrund vorheriger Herkunftsbezeichnung (Betriebsstätte, Abfallart etc.) ausgewählt und analysiert. Die einzelnen Behälter wurden so untersucht, wie sie durch das jeweilige Entsorgungscenter angenommen wurden. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß die so ermittelte Übernahme der gängigen Praxis entspricht.

### **2.3 Durchführung der Sortieranalyse**

Um die Zusammensetzung der untersuchten Verpackungsmaterialien zu ermitteln, stehen die Handsortierung, die Siebung oder eine optische Klassierung zur Verfügung. Zur exakten Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung wurden bei den durchgeführten Sortierungen die untersuchten Fraktionen, zufällig ausgewählter Abfallstichproben, in die interessierenden Stofffraktionen händisch getrennt und verwogen. Bei den Sortieranalysen standen die Ermittlung der Sortenreinheit bzw. die Ermittlung der Durchschnittsdichte im Vordergrund.

Für eine Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Einzeldaten ist eine Dokumentation der erfaßten Daten unumgänglich. Für die Datenerfassung wurde ein Formular entwickelt, in dem die bei der Sortieranalyse ermittelten Daten protokolliert werden.

Die durchgeführten Sortieranalysen umfassen des weiteren noch folgende Schritte:

- detaillierte Sortierung und Verwiegung von Hand
- statistische Auswertung der Ergebnisse
- grafische Darstellung der Ergebnisse
- Fotodokumentation.

Um einen Vergleich zwischen einzelnen Stichprobengebieten anzustellen bzw. deren Unterschiede herauszuarbeiten, wurden zusätzliche charakteristische Merkmale wie z.B. Behältergröße, Behälterart etc. aufgenommen.

### 3 Ergebnisse und Auswertung der Daten der Sortieranalysen

Bei der Sortieranalyse des Verpackungsmaterials wurde jeder Sammelbehälter einzeln analysiert. Die erhaltenen Massenangaben der Sortieranteile (Dichtebestimmungen, VP-Materialanteile) wurden als Meßergebnisse einer statistischen Auswertung mit dem Ziel eines abgesicherten Mittelwertes für die untersuchten Behälter unterworfen. Für die Berechnung der Durchschnittsdichten und der Sortenreinheit wurden folgende Formeln verwendet:

Durchschnittsdichte	
Durchschnittsdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}$
Standardabweichung [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n-1}}$
Standardfehler [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{\bar{\rho}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$
Sortenreinheit	
gewichteter Mittelwert des VP-Anteil [%]	$\bar{X} = \frac{m_{VP} \cdot 100}{m_{gesamt}}$
Standardabweichung [%]	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$
Standardfehler [%]	$\sigma_{\bar{\rho}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$

Die Charakterisierung des Stichprobenraumes erfolgt für jede VP-Fraktion durch Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes und der Standardabweichung. Es wurde unterstellt, daß die Verteilung der ermittelten Stichprobenmeßergebnisse einer Standardnormalverteilung folgen. Bei nur geringer Stichprobenzahl wurde regelmäßig empfohlen, auf die Ergebnisse einer sog. „Branchenkennzahl“ zurückzugreifen, die auf Ergebnisse umfangreicher

Untersuchungen vergleichbarer Anfallstellen anderer Hersteller beruhen (Stichprobenzahl  $n > 30$ ).  
Durch Wichtung des arithmetischen Mittelwertes wird die Häufigkeitsverteilung der Einzelmassen berücksichtigt.

### **3.1 Ermittlung der Durchschnittsdichte**

Zur Berechnung der Durchschnittsdichte wurde die gesamte Masse der Container herangezogen, sowohl Verpackungen, stoffgleiche Nichtverpackungen sowie Abfälle. Durch arithmetische Mittelwertbildung erhält man für jede VP-Material-Fraktion eine Durchschnittsdichte unter Angabe der berechneten Standardabweichung der Meßreihe.

### **3.2 Ermittlung der Sortenreinheit bezogen auf den anrechenbaren Verpackungsanteil**

Zur Ermittlung der Sortenreinheit bezogen auf den anrechenbaren Verpackungsanteil (nachfolgend „Sortenreinheit“) wurde der Anteil an Verpackungen an der gesammelten Materialfraktion betrachtet.

„Stoffgleiche Nichtverpackungen“ (= stoffgleiches Material, das aber nicht die Kriterien als Verpackung erfüllt) und „Nicht - stoffgleiche Nichtverpackungen“ (= andere Abfälle) wurden zusammengefasst und gelten als Fehlwürfe.

Ziel der Untersuchungen ist es, die Sortenreinheit bezogen auf den anrechenbaren Verpackungsanteil zu ermitteln, um mit Hilfe der so bestimmten Kenngröße eine statistisch abgesicherte Berechnung des VP-Anteils aus der erfassten Gesamtmasse des Sammelbehälterinhaltes in der Händlerorganisation abzuleiten.

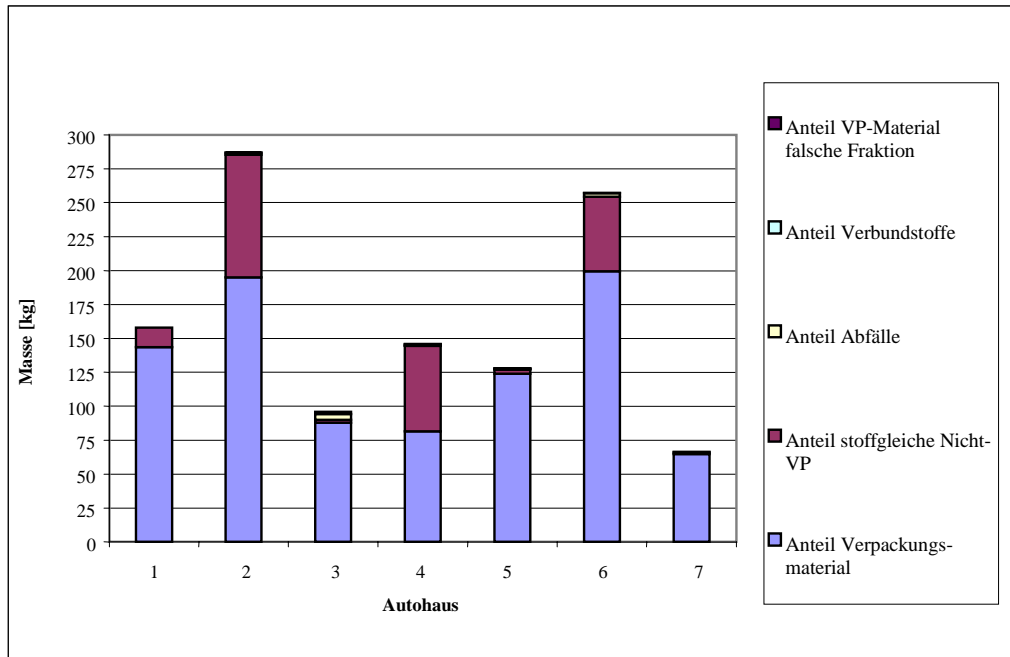
Die Ermittlung des Kennwertes für die Sortenreinheit erfolgte unter Zuhilfenahme der o.a. Formeln zur statistischen Mittelwertbildung.

Typischerweise führt eine Streuung einzelner Sortierquoten in einem geringen Stichprobenumfang zu hohen Standardabweichungen, was sich nur durch Erhöhung der Stichprobenanzahl in gewissem Umfang reduzieren lässt. Erstrebenswert ist es, Mittelwerte zu erhalten, deren Standardabweichung zu einem Fehler von unter 5% führt. Diese Zielsetzung ist aber nur bei Stichproben aus – bezogen auf das Auswahlkriterium – homogenen Stichprobenräumen realistisch. Da z.B. bei PPK-Fraktionen die gemeinsame Sammlung von Verpackungen aus PPK und Nicht-Verpackungen aus PPK (z.B. Druckschriften) erfolgt, repräsentiert die „Fehlerangabe“ nicht nur die „Streuung der Messwerte“ um den ermittelten Mittelwert sondern zugleich die Homogenität der untersuchten PPK-Fraktionen bezogen auf das allgemeingültige Kriterium des Verpackungs-Anteils. Die Angabe eines „Fehlers“ dient hiermit also eher der Dokumentation der Homogenität der Stichprobe bezogen auf das Verpackungskriterium.

Die Ergebnisse der untersuchten Betriebe/Sammelbehälter können je Fraktion wie folgt beeinflusst werden.

Im Bereich der Fraktion Pappe/Papier/Kartonage wird bei der Betrachtung der Einzeldichten eine sehr hohe Schwankungsbreite deutlich, die mit dem hohen Anteil an stoffgleicher Nichtverpackung korreliert z.B. Druckschriften. Da die untersuchten PPK-Fraktionen trocken waren, kann ein Einfluß der Feuchtigkeit auf die hohe Schwankungsbreite der ermittelten Dichten ausgeschlossen werden.

**Abbildung:** Grafische Darstellung der stofflichen Zusammensetzung der Fraktion PPK (Beispiel)



Des Weiteren erfolgte eine Bilddokumentation der bereitgestellten Verpackungsfraktionen sowie der händisch getrennten Bestandteile der einzelnen Fraktionen.



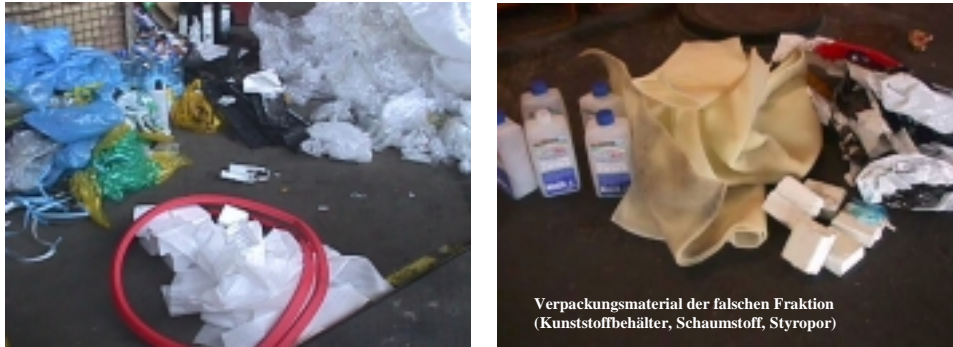
**Abbildung 1:** Zur Sortierung bereitgestellte Behälter (Fraktion PPK)



**Abbildung 2:** Sortiertes Verpackungsmaterial der Fraktion PPK

Im Bereich der PE-Folie wird i.a. eine hohe Standardabweichung festgestellt, die auf eine unterschiedlich starke Verdichtung bei der Befüllung der Behälter, insbesondere Säcke

zurückzuführen ist. Die nachfolgende Abbildung zeigt die händisch sortierten Bestandteile eines Behälters der Fraktion PE-Folie.



**Abbildung 3:** Fraktion PE-Folie

Bezüglich der Sortenreinheit der Fraktion Kunststoffgebinde mit i.a. schädlichen Restinhalten in Bezug auf Verpackungsmaterial ist zu bemerken, dass diese sehr hoch ist. Das Ergebnis wird jedoch durch Behälter, die einen hohen Anteil an Restflüssigkeit aufwiesen, geschmälert. Abweichungen im Hinblick auf die ermittelte Schüttdichte sind auf verschiedene Behältervolumina bzw. -formen zurückzuführen.

Im Rahmen der Sortieranalysen können weitere Zusatzmerkmale z.B. in den Fraktionen mit Verpackungsbehältern (Dosen, Kanister, Flaschen etc.) systematisch erfasst und dokumentiert werden. Anhand von Checklisten werden die Merkmale durch separate Sortierung der Behälterfraktionen erfasst. Dabei können Merkmale wie z.B. Gefahrstoffsymbol, Hersteller des Produktes, Produktbezeichnung, Restinhalte, Kennzeichnung mit grünem Punkt, Gebindegrößen etc., die sich durch Art und Kennzeichnung der Behälter ermitteln lassen, bei den Sortieranalysen zusätzlich aufgenommen werden. Die erfassten Merkmale können dann statistisch ausgewertet (soweit aussagefähig) und auf den Stichprobenumfang umgerechnet werden, z.B. Anteil an Grünen-Punkt-Verpackungen an Behälterverpackungen).