

# **Durchführung von Sieb- und Sortieranalysen an Abfällen und Bestimmung der Chemisch-physikalische Beschaffenheit**

**Autoren**

**Prof. Dr. Werner Bidlingmaier: Bauhaus Universität Weimar**

**Dr.-Ing. Joachim Müsken; Beratender Ingenieur, Stuttgart**

**INHALT**

Seite

1.	Durchführung von Abfallanalysen	1
1.1	Behälterkenndaten	2
1.1.1	Stichprobenauswahl	3
1.1.2	Datenerfassung und -auswertung	4
1.2	Stoffliche Zusammensetzung	9
1.2.1	Stichprobenauswahl	9
	- Haushaltsabfälle und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	
	- Sperrmüll	
	- Gewerbeabfälle (incl. Baustellenabfälle)	
1.2.2	Durchführung der Analyse	15
	- Siebung	
	- Handsortierung	
	- Optische Klassierung	
1.3	Chemisch-physikalische Beschaffenheit	25
1.3.1	Probenahme	26
1.3.2	Probenaufbereitung	28
1.3.3	Analysen	30
1.4	Literatur	33

**TABELLEN**

Seite

Tab. 1: Umrechnungsschema Behälterfüllgrad (Beispiele Holsysteme)	5
Tab. 2: Beispiele für Behälterkenndaten (Bringsysteme)	8
Tab. 3: Einflüsse auf die Probenahme für die Sieb- und Sortieranalyse bei verschiedenen Haushaltsabfallarten und Sammelsystemen	13
Tab. 4: Sinnvolle Analysenschritte bei der Feststellung der Zusammensetzung verschiedener Abfallarten	18
Tab. 5: Sortierfraktionen für verschiedene Abfallarten	21
Tab. 6: Spezifische Gewichte von vermischten Gewerbeabfällen im Transportfahrzeug bzw. -behälter (Beispiele)	24
Tab. 7: Beispiel für ein Formblatt zur optischen Klassierung von Gewerbeabfällen	25
Tab. 7: Beispiel für die Probenahme aus vermischt eingesammelten Haushaltsabfällen für Laboranalysen	27

**ANLAGEN**

Bild 1: Füllstandskurven verschiedener Abfallbehälter (Holsysteme)	6
Bild 2: Auswertungsbeispiele für Behälterkenndaten (Holsysteme)	7
Bild 3: Ablaufschema für eine Sieb- und Sortieranalyse von vermischt eingesammelten Haushaltsabfällen bzw. Restabfällen aus Getrenntsammlsystemen	20
Bild 4: Bandbelegungsplan für die Sortierung vermischt eingesammelter Haushaltsabfälle	22
Bild 6: Probenaufbereitung im Labor (Probe < 60 mm)	29

**1. Durchführung von Abfallanalysen**

Abfallanalysen sollen Aufschluß geben über die Zusammensetzung von Abfällen in stofflicher Hinsicht und bezüglich chemischer und physikalischer Eigenschaften. Unterschieden werden hierbei die Analysen

- der Zusammensetzung nach
  - Korngröße,
  - Stoffgruppen,
  - Verwertbarkeit bzw. Störstoffanteil,
- der chemisch/physikalischen Eigenschaften der einzelnen Siebfraktionen und Stoffgruppen oder auch der Gesamtmenge, wie
  - spezifisches Gewicht,
  - Wassergehalt,
  - Luftporenvolumen,
  - Wasserkapazität,
  - Verdichtbarkeit,
  - Eluierbarkeit,
  - pH-Wert,
  - Heiz-/Brennwert,
  - Glühverlust,
  - Salzgehalt,
  - Schadstoffgehalt,
  - Gehalt an Pflanzennährstoffen.

Die Liste ist unvollständig, da sie sich immer an den speziellen Erfordernissen der durchzuführenden Erhebungen ausrichten muß. So bestimmt z.B. die weitere Behandlung der zu untersuchenden Abfälle, ihre Wiederverwertung (stofflich) bzw. ihre Umwandlung (thermisch oder biologisch) den Untersuchungsumfang ganz wesentlich. Umgekehrt hängt die Wahl der Behandlungsmethode von den chemisch/physikalischen Eigenschaften einzelner Abfallströme ab.

Die Sieb- und Sortieranalyse von Abfällen ist i.d.R. eingebettet in die abfallwirtschaftliche Grunddatenerhebung für ein Sammelgebiet bzw. einen Betrieb oder dient der Untersuchung der Effizienz von Abfallsammelsystemen und -behandlungsanlagen. Daher macht es im Rahmen von Erhebungen über ein Sammelgebiet oder einen Betrieb Sinn, zur gleichen Zeit auch die Kenndaten über die eingesetzten Abfallbehälter mit zu erfassen. Darüber hinaus schafft die Kenntnis dieser Daten die Grundlage für die Einschätzung der Wirksamkeit des eingesetzten Einsammlungs- und Transportsystemes.

Behälterkenndaten sind

- das Gewicht der abholbereiten Behälter,
- ihr Füllgrad,
- das Raumbgewicht der Abfälle im Behälter,
- die Bereitstellungsquote bei Holsystemen (Haus-zu-Haus-Sammlung),
- die Häufigkeit der Benutzung bei Bringsystemen (z.B. zentrale Container für Wertstoffe).

Ausgenommen seien an dieser Stelle Untersuchungen zur Tätigkeit der Müllwerker (Zeitnahme beim Ladevorgang etc.) und der eingesetzten Sammeltechnik (z.B. Umladevorgänge), da sie weder die Abfallzusammensetzung noch die chemisch/physikalischen Eigenschaften der Abfälle wesentlich beeinflussen.

Die Abfallwirtschaftskonzeption einer Gebietskörperschaft oder eines Betriebes benötigt die Abfallanalyse

- zur Festlegung von Mengenströmen (z.B. Wertstoffe/Reste) und darauf aufbauend
- zur Auswahl und Dimensionierung von Behandlungsanlagen oder Teilen hiervon.

Insofern bilden Abfallanalysen die Basis jeglicher abfallwirtschaftlicher Planung und damit der Funktion der immer komplexer werdenden, miteinander verknüpften Behandlungsverfahren.

Innerhalb der Abfallbehandlung dient die Abfallanalyse der Steigerung der Effizienz des eingesetzten

Verfahrens bis hin zu einzelnen Aggregaten (z.B. Mühlen, Siebe, Fördereinrichtungen) und/oder Arbeitsschritten (Separierung von bestimmten Wertstoffen, Kompostrotte etc.).

In den folgenden drei Teilkapiteln werden nun die Grundlagen für die Erhebung von Behälterkenndaten, stofflicher Zusammensetzung und chemisch/physikalischer Beschaffenheit von Abfallströmen behandelt, soweit sie für die abfallwirtschaftliche Planung von Interesse sind. Auf die Darstellung von Effizienzuntersuchungen an Abfallbehandlungsanlagen wurde verzichtet, da sie von Fall zu Fall sehr stark variieren und da z.B. für die Analyse der stofflichen Zusammensetzung von Abfallströmen die vorgestellten Vorgehensweisen analog angewendet werden können.

### 1.1 Behälterkenndaten

Im Rahmen der Systemabfuhr dient die Erhebung der Behälterkenndaten der Überprüfung des bereitgestellten Behältervolumens je Einwohner in Abhängigkeit von Abfuhrhythmus, Behältergröße und Sammelsystem sowie der Ermittlung von Kenndaten für die Tourenplanung.

Folgende Problemstellungen stehen im Hintergrund:

1. Die Behältergröße ist zu gering bzw. die Abfuhrintervalle sind zu lang:
  - Sekundärentsorgung (z.B. Autobahnrastplatz),
  - bei Mehrbehältersystemen (z.B. Zwei-Tonnen-System, Mekam) schlechte Trennschärfe,
  - Verunreinigung des Standplatzes (z.B. Wertstoffcontainer).
2. Die Behälter sind zu groß bzw. die Abfuhrintervalle zu kurz:
  - Nicht erwünschte Stoffe, wie z.B. Sperrmüll, Bauschutt, Strauchschnitt, die in der Regel über ein eigenes Abfuhrsystem entsorgt werden, finden sich in den Behältern,
  - die generelle Auslastung des Sammelsystems ist zu niedrig.
3. Die Auslastung des Sammelfahrzeuges:
  - Spezifisches Gewicht der Abfälle (Zuladung, zulässiges Gesamtgewicht),
  - Anzahl der zu ladenden Behälter je Tour (Füllgrad, spezifisches Gewicht).

#### 1.1.1 Stichprobenauswahl

Grundgesamtheit für die Auswahl der Stichprobe zur Erhebung von Behälterkenndaten ist die Gesamtzahl eines in einem Sammelgebiet benutzten Abfallbehälters, also z.B. alle MGB mit 120/240 l Inhalt oder alle Wertstoffcontainer für Glas und Papier, zum Zeitpunkt der regulären Abfuhr. Soll der Einfluß der Gebietsstruktur (Bebauung, Grünflächen- oder Gewerbeanteil etc.) mit berücksichtigt werden, so ist eine Unterteilung der Grundgesamtheit nach den für die Auswertung interessanten Parametern zweckmäßig. Beispielhaft sei hier das System Biotonne erwähnt, für das der Gartenanteil eine entscheidende Einflußgröße für das benötigte Behältervolumen darstellt.

Es empfiehlt sich, zur statistischen Absicherung der Stichprobe bei der Haus-zu-Haus-Sammlung von zwischen 5 und 10 % der insgesamt im Untersuchungsgebiet vorhandenen Behälter Kenndaten zu erheben. Dies bedeutet beispielsweise für eine Sammeltour mit 120/240 l MGB für Mischmüll bei rund 1.200 vorhandenen Behältern, daß mindestens je 60, nach dem Zufallsprinzip ausgewählte Abfalltonnen mit 120 und 240 l Inhalt zu beproben sind. Die Auswahl der zu erfassenden Abfallbehälter kann i.d.R. anhand der bei der Gebietskörperschaft/-Kommune oder dem Abfuhrunternehmen vorhandenen Behälterlisten (nach Straßen und Gebäuden geordnet) getroffen werden. Sollen gebietsstrukturspezifische Daten gewonnen werden, so müssen zusätzlich Flächennutzungs- oder Bebauungspläne hinzugenommen werden, um beispielsweise alle Häuser mit Gärten auszuwählen. Stehen keine solchen Hilfsmittel zur Verfügung, muß die Einteilung der Stichprobe anhand einer Begehung des Sammelgebietes vorgenommen werden.

Jahreszeitliche Schwankungen der Abfallmengen sind bei der Auswahl des Untersuchungszeitpunktes im Jahresverlauf zu beachten. Die Durchführung der Untersuchung zu Zeiten der Anfall extrema (z.B. Herbst und Winter bei der Sammlung von Bioabfällen) ist zu empfehlen. Anhand der Abfallmengenstatistik kann dann die Behälterauslastung für einen bestimmten Abfallstrom im Jahresgang mit genügender Genauigkeit bestimmt

werden.

Die Auswahl einer repräsentativen Stichprobe zur Bestimmung der Kenndaten für Behälter in Bringsystemen (z.B. Wertstoffcontainer) kann analog erfolgen. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf die Standplatzqualität und auf die Struktur der Umgebung zu richten. Die Anzahl der zu beprobenden Behälter sollte in diesem Fall nicht unter 20 % der insgesamt vorhandenen liegen; eine Beprobung aller Behälter im Zuge der Abfuhr ist in diesem Falle meist möglich.

### 1.1.2 Datenerfassung und -auswertung

Ermittelt wird der Füllstand im Abfallbehälter (Meterstab) und dessen Gesamtgewicht (Federwaage bis MGB 240 I, bei größeren Behältern Behälterttausch und separate Wiegung oder Radlastwaage). In einem vorgefertigten Formular werden protokolliert:

- Standort (z.B. Straßennamen/Hausnummer),
- Behältervolumen und -art (z.B. 110 I-Rundtonne, Glascontainer 3 m<sup>3</sup>),
- Abfallart (z.B. Restabfall),
- Füllstand (vom oberen Behälterrandauf die Abfalloberfläche gemessen),
- Gesamtgewicht des Behälters (Bruttogewicht),
- andere Standortdaten, wie z.B. Zugänglichkeit, Sauberkeit (nur Depotcontainer)

### Holsysteme

Als praktikabelste Vorgehensweise bei Haus-zu-Haus-Systemen empfiehlt es sich, am regulären Abfuhrtag, beginnend am Startplatz der Einsammlung, das Sammelgebiet anhand einer Stadtkarte systematisch abzuarbeiten. Dabei ist folgendes zu beachten:

1. Das Wiegeteam ist im allgemeinen langsamer als das Sammelfahrzeug => früher als das Sammel-fahrzeug beginnen.
2. In Gebieten, in denen die Abfallbehälter erst zu einem späteren Zeitpunkt (normalerweise liegt der Beginn der Abfuhr zwischen 6<sup>00</sup> und 7<sup>00</sup> Uhr) abgeholt werden, stehen die Abfallbehälter erst kurz vor der Ab-holung bereit => nicht zu früh anfangen, die Behälter stehen u.U. noch nicht alle bereit.

Das Wiegeteam sollte aus mindestens drei Personen bestehen, die Wiegeleistung beträgt dann ca. 50 MGB/h. Zwei Personen heben den Behälter mit einer an einer Stange befestigten Federwaage an, die dritte Person liest das Bruttogewicht ab und protokolliert alle benötigten Daten. Bei Behältern mit einem Nenninhalt größer 240 l muß entweder mit einer Radlastwaage gearbeitet bzw. ein Behälterttausch vorgenommen werden.

Die Füllstandskurve für die jeweiligen Behältertypen kann zweckmäßigerweise durch Auslitern mit Wasser (Abstand der Füllstände 10 cm) erfolgen. Tabelle 1 gibt für einigen Behältertypen die Parameter für die Füllstandskurve wieder. Bei Behältern mit seitlichen Öffnungen wird die Tonne mit einem dünnen Plastiksack ausgeschlagen. Als genügend genaues Nettogewicht zur Bestimmung des Abfallgewichtes und des spezifischen Gewichtes der Abfälle kann der Durchschnittswert von 5-10 leeren Behältern verwendet werden.

Füllstandskurven siehe Anlage I. Zur Berechnung der Bereitstellungsquote bei der Haus-zu-Haus-Sammlung werden während des Sammelvorganges alle bereitgestellten Behälter gezählt. Das Verhältnis von bereitgestell-ten zu insgesamt vorhandenen Behältern (siehe Behälterliste) wird dann in [%] angegeben. Benötigte Utensilien (Behälter bis 240 l Inhalt):

- |   |  |
|---|--|
| 1. Schreibbrett und Bleistifte            | 2. Stadtpläne und Straßenkarten        |
| 3. Formulare                              | 4. Meterstab                           |
| 5. Federwaage mit Stange und Haken        | 6. Taschenlampe (je nach Jahreszeit)   |
| 7. Regenschirm und Regenjacken            | 8. Fahrzeug (für größere Entfernungen) |
| 9. Stückgut-zähler (Bereitstellungsquote) |  |

**Tabelle 1: Umrechnungsschema Behälterfüllgrad (Beispiele Holsysteme)**

Polynom 3. Grades: $Y = A(3) * X^3 + A(2) * X^2 + A(1) * X + A(0)$ (Y in [l], X in [cm])						
MEKAM	Facheinteilung					
Koeffizient	30%	40%	50%	60%	70%	100%
A(0)	70,1938	90,3898	115,9173	134,5120	159,1737	229,3676
A(1)	-0,9267	-1,3310	-1,7380	-1,6865	-2,3466	-3,2733
A(2)	-0,000045	0,00359	0,00573	-0,00084	0,00718	0,00714
A(3)	1,8014 <sup>-05</sup>	-7,5636 <sup>-07</sup>	-1,00438 <sup>-07</sup>	3,11399 <sup>-05</sup>	-1,1151 <sup>-05</sup>	6,8629 <sup>-06</sup>

Polynom 3. Grades: $Y = A(3) * X^3 + A(2) * X^2 + A(1) * X + A(0)$ (Y in [l], X in [cm])						
Rundtonnen und MGB	Behältergröße und -art					
	Rundtonnen		Müllgroßbehälter (MGB)			
Koeffizient	50 l	110 l	80 l	120 l	240 l	Biotonne ) <sup>1</sup>
A(0)	49,8267	110,3108	90,0168	118,8441	238,5643	88,0823
A(1)	-1,0508	-1,5135	-1,3920	-1,8545	-2,7715	-1,1699
A(2)	0,00649	0,00168	0,00325	0,00725	0,00045	-0,0057
A(3)	-3,9230 <sup>-05</sup>	3,5489 <sup>-07</sup>	-3,2051 <sup>-06</sup>	-2,1402 <sup>-05</sup>	3,0536 <sup>-05</sup>	8,0194 <sup>-05</sup>

**)<sup>1</sup> 80 l Nenninhalt mit Korbeinsatz (Fa. OTTO)**

**Bringsysteme**

Bei Depotcontainern lässt sich die Füllstandskurve am sinnvollsten aus den Maßangaben einer Konstruktionszeichnung errechnen. Das Gewicht der Abfälle kann in diesem Fall nur durch Umleeren des Containerinhaltes auf ein separates Fahrzeug bestimmt werden.

Aus dem mittels der Füllstandskurve für den jeweiligen Behältertyp errechneten Abfallvolumen (s. Bild 1 und Tab. 1) und dem Nettogewicht der Abfälle wird deren Schüttgewicht berechnet. Der Füllgrad der Behälter ergibt sich aus dem Verhältnis von Abfall- zu Behälternennvolumen; er wird in [Vol.-%] angegeben. Tab. 2 und Anlage II zeigen Beispiele für die Auswertung von Behälterkennndaten.

Tabelle 2: Beispiele für Behälterkenndaten (Bringsysteme)

Papiercontainer (3 m <sup>3</sup> )								
Standort	Anzahl Container	Füllgrad [%]	letzte Leerung vor [d]	angeschl. Einwohner	Gebietsstruktur ) <sup>1</sup>	Lage im Umfeld	Sammelergebnis [kg/-E,a]	Gesamtgewicht [kg]
1	2	90/95	8	740	1.1	zentral	40,4	330
2	1	100	8	740	2.1	Rand, extrem	40,4	160
3	1	100	4	710	2.2/2.3	zentral	31,3	450
4	1	100	4	710	1.3	zentral	31,3	250
5	2	95/95	4	1.000	2.2/2.3	Rand, extrem	12,3	470
6	1	50	7	1.150	3.1	Rand, zentral	6,2	135
7	2	100/100	10	1.000	2.3/3.2	Rand, zentral	12,3	305
8	1	110	7	610	1.2	zentral	14,1	290
9	2	100/100	7	1.390	3.1	Rand	10,1	620
10	1	45	7	700	1.1	zentral	13,3	285
11	1	100	7	780	1.1	zentral	11,3	280
12	2	100/50	7	1.080	3.1	Rand, extrem	9,6	240
13	1	55	14	260	1.2	zentral	11,3	155
14	1	100	7	550	1.2	zentral	14,2	245
Glas-/Dosencontainer (3 m <sup>3</sup> )								
Standort	Anzahl Container	Füllgrad [%]	letzte Leerung vor [d]	angeschl. Einwohner	Gebietsstruktur ) <sup>1</sup>	Lage im Umfeld	Sammelergebnis [kg/-E,a]	Gesamtgewicht [kg]
1	1	75	7	710	1.3	zentral	35,4	530
2	1	60	7	710	2.2/2.3	zentral	35,4	395
3	1	100	21	550	1.2	zentral	17,5	660
4	1	70	28	260	1.2	zentral	22,8	475
5	2	105/105	20	1.390	3.1	Rand	11,7	1.285
6	1	120	28	700	1.1	zentral	21,4	800
7	1	80	21	740	2.1	Rand, extrem	27,2	470
8	1	50	7	740	1.1	zentral	27,2	290
9	1	50	14	1.000	2.3/3.2	Rand, zentral	37,7	345
10	1	120	21	1.150	3.1	Rand, zentral	12,2	770
11	1	50	7	780	1.1	zentral	26,2	355
12	2	60/100	7	610	1.2	zentral	14,4	770

**)<sup>1</sup> Gebietsstrukturen:**

- 1.1 Ortszentrum, ländlich (verdichtete Bebauung)
- 1.2 Ortszentrum, ländlich (aufgelockerte Bebauung)
- 1.3 Ortszentrum, städtisch (verdichtete Bebauung)
- 2.1 Ortszentrum, städtisch (aufgelockerte Bebauung)
- 2.2 Wohnsiedlung, ländlich (aufgelockerte Bebauung)
- 2.3 Wohnsiedlung, städtisch (verdichtete Bebauung)
- 3.1 Mischbebauung, ländlich (Gewerbe/Wohnen)
- 3.2 Mischbebauung, städtisch (Gewerbe/Wohnen)

## 1.2 Stoffliche Zusammensetzung

Die Art der Erhebung der stofflichen Zusammensetzung von Abfallströmen hängt v.a. von der Beschaffenheit des zu untersuchenden Materials ab. Hierbei spielt die Stückgröße eine entscheidende Rolle. So ist es unmöglich, Haushaltsabfälle, die einen Durchmesser < 40 mm haben, an einem Sortierband nach Stoffgruppen zu trennen. Auch die Sortierung gemischt angelieferter Gewerbeabfälle ist aufgrund der Heterogenität des Materials problematisch.

Daher wird im folgenden unterschieden in die für einzelne Abfallarten sinnvolle Vorgehensweise (z.B. Siebung, Sortierung, optische Klassierung) nebst zugehörigem Stichprobenumfang und praktischer Vorgehensweise.

### 1.2.1 Auswahl einer repräsentativen Stichprobe

Von entscheidender Bedeutung ist die zufällige Auswahl der Stichprobe aus einer definierten Grundgesamtheit. Die Abschätzung des Stichprobenfehlers kann dann über die Varianz bzw. Standardabweichung bei vorgegebener Wahrscheinlichkeit erfolgen. Nur eine den statistischen Anforderungen genügende Stichprobe bietet die Gewähr für ausreichend abgesicherte Analysedaten. Eine ausführliche Darstellung der hierzu notwendigen Vorgehensweise ist z.B. in [1] und [2] enthalten, so daß hier im folgenden nur noch auf die abfalltechnisch relevanten Einflußgrößen und auf die Probenauswahl eingegangen wird.

Die genaue Festlegung von Stichprobenumfang und Probenahmegebiet bzw. Probenahmestelle ergibt sich jeweils aus den spezifischen Anforderungen an die Sortierung (z.B. Reinheitsgrad getrennt erfasster Abfallströme, Zusammensetzung von Mischmüll, Abschöpfungsgrad bestimmter Wertstoffe, verschiedene Behältergrößen etc.). Daher ist es zunächst notwendig, die Anforderungen verschiedener Abfallarten an die Auswahl der Stichprobe und die Art der Aufteilung in Stoffgruppen zu definieren:

#### Haushaltsabfälle und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Diese Abfallarten umfassen je nach Sammelsystem sowohl vermischt eingesammelte Abfälle als auch bereits an der Quelle abgetrennte Stoffströme, wie Bioabfälle und Wertstoffe. Sie werden i.d.R. im Holsystem in Gefäßen bis 1,1 m<sup>3</sup> Inhalt oder im Bringsystem über Container mit begrenzter Einwurfmöglichkeit erfasst, so daß sich nach einer Aufsplittung in Siebfractionen eine für die händische Sortierung geeignete Stückgröße ergibt.

Die Abfuhr erfolgt meist in regelmäßigen Intervallen von Haus zu Haus oder von Standplatz zu Standplatz. In jedem Fall stellt die Menge der im Sammelgebiet anfallenden Abfälle statistisch gesehen die Grundgesamtheit dar, aus der dann die Stichprobe zufällig entnommen wird (0,5-1,0% des Gewichtes je Sammelzyklus bei Haus-zu-Haus-Sammlung, bis zu 10-15 Gew.-% bei zentralen Containern für Wertstoffe, je nach Aufstellungsdichte).

Jahreszeitliche Schwankungen in der Abfallmenge und -zusammensetzung können nur erfasst werden, wenn je Sammelgebiet mindestens vier Sortieranalysen pro Jahr durchgeführt werden. Die Mindestanzahl der Analysen kann auf zwei erniedrigt werden, wenn z.B. über eine Mengenerfassung die jahreszeitlichen Minima und Maxima bekannt sind. In diesem Fall wird die Probenahme zum Zeitpunkt der Mengenextrema anzusetzen sein.

Im Falle der Haushaltsabfälle und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle empfiehlt sich für die Auswahl der Stichprobe zunächst die Feststellung der Struktur des Sammelgebietes (Bebauungsdichte, Nutzung) anhand statistischer Daten. Dies sind z.B. Einwohnerzahlen, Grünflächenanteile, Anzahl der Wohnungen je Gebäude, -Gewerbeanteil etc., die sich i.d.R. in bei den Statistischen Ämtern geführten Datensammlungen finden lassen.

Des weiteren spielen die Behältergröße, der Abfuhrhythmus, die Organisation der Wertstofffassung u.ä. eine Rolle. Diese Auskünfte sind in der Regel beim für die Abfallentsorgung zuständigen Amt oder direkt beim Abfuhrunternehmer zu erhalten.

Nach der Auswertung dieser Daten wird jeweils nach dem Zufallsprinzip entweder

- eine **Mischprobe** aus dem gesamten Sammelgebiet gezogen, evtl. unter Einbeziehung von Bebauungs- und/oder Nutzungsstrukturen (siehe Beispiele), oder
- eine **bebauungsspezifische Probe** auf der Basis der aus einer Statistik ausgewählten Größe (z.B. Anzahl der Wohnungen je Wohngebäude, Grünflächenanteil o.ä.) genommen, d.h. nur Behälter aus der jeweiligen Bebauungsstruktur werden ausgewählt, oder
- eine **nutzungsspezifische Probe** anhand der im Sammelgebiet anzutreffenden Nutzung (z.B. Mischgebiete: Gewerbe/Wohnen) ausgewählt.

Basis für die Probenahme ist sinnvollerweise das Abfuhrgebiet (Sammeltour), da die Probe am Tag der regulären Abfuhr gezogen werden muß. Der Umfang der Probenahme ist dadurch begrenzt, daß je Sortiertag

mit einem Sortiertrupp (4-8 Personen, je nach Anzahl der zu sortierenden Stoffgruppen, ausgerüstet mit Siebmaschine und Sortierband) aus technischen Gründen max. 1.000 - 1.200 kg Abfälle verarbeitet werden können.

Eingesammelt wird entweder mit einem Müllsammelfahrzeug mit entsprechender Schüttung oder durch Umleeren kleinerer Behälter in z.B. 1,1 m<sup>3</sup>-Container, die dann mit einem Pritschenfahrzeug mit Ladebordwand transportiert werden, oder durch Auswechseln der Abfallbehälter (leer gegen voll) oder durch Entleeren von größeren Containern (z.B. Glas- und Papiercontainer) mit der Ladevorrichtung des Sammelfahrzeuges auf einen anderen LKW (z.B. mit in Fächern unterteilter Pritsche).

Anschließend sind drei Beispiele für die Vorgehensweise bei der Probenahme für die Haus-zu-Haus-Sammlung dargestellt:

(A) Mischprobe mit Berücksichtigung der Bebauungsstruktur (z.B. bei kleineren Untersuchungsgebieten)

Das Entsorgungsgebiet umfasst 100.000 Einwohner, die 300 kg/E,a gemischt gesammelte Abfälle produzieren. Bei einer Probenmenge von 0,5 Gew.-% (wöchentliche Abfuhr) errechnen sich für die Stichprobe 2.880 kg. Ein durchschnittliches Schüttgewicht bei 240 l MGB von 120 kg/m<sup>3</sup> und einen Füllgrad von 80 % angesetzt, ergeben sich 125 Abfallbehälter, die je Sortiertermin mindestens eingesammelt werden müssen. Eine Durchsatzleistung von 1.000 kg/d bei der Sortierung angesetzt, müssen also drei Sortiertage eingeplant werden. Beispiel für die Bebauungsstruktur:

Struktur I:	1-2 Wohnungen/Gebäude	= 75 %
Struktur II:	3-4 Wohnungen/Gebäude	= 15 %
Struktur III:	>4 Wohnungen/Gebäude	= 10 %

Entsprechend der Bebauungsstruktur (prozentualer Anteil) werden alle Bereiche des Sammelgebietes beprobt. Es errechnet sich eine zu sammelnde Behälterzahl von 94 Stück aus Struktur I, 19 Stück aus Struktur II und 13 Stück aus Struktur III, die anhand der Behälterliste (Standort mit Hausnummer) zufällig ausgewählt und dann jeweils zusammen eingesammelt werden.

(B) Bebauungsspezifische Probe (z.B. bei großen Untersuchungsgebieten)

Im Gegensatz zu (A) wird jede Bebauungsstruktur getrennt beprobt. D.h., daß am regulären Abfuhrtag nur Behälter einer Bebauungsstruktur im Sammelgebiet ausgewählt werden. Die zu sammelnde Abfallmenge ist dabei stark abhängig von der Homogenität der jeweils vor Ort anzutreffenden Strukturen und liegt bei ca. 1.000-2.000 kg je Bebauungsstruktur und Sortiertermin. Dies entspricht z.B. bei 240 l MGB und Mischmüll ca. 40-90 Behältern.

(C) Nutzungsspezifische Probe (z.B. hausmüllähnlicher Gewerbeabfall)

Entsprechend der Nutzung der Gebäude werden nur Behälter eingesammelt, die Gewerbebetrieben zugeordnet werden können. Die Probenmenge ist abhängig von der Homogenität der vorhandenen Nutzungen. Sie ist eher bei 1 % der anfallenden Abfallmenge oder höher anzusetzen, da erfahrungsgemäß die Palette der über die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle entsorgten Betriebe vom Büro über das Handels- oder Handwerkergeschäft bis hin zum kleinen Industriebetrieb reicht.

Neben den Einflußgrößen für die Abfallzusammensetzung bei der Haus-zu-Haus-Sammlung (Bebauungsstruktur, Behältergröße, Gewerbeanteil etc.) ergeben sich für Standplätze in Bringsystemen (i.d.R. Container für Wertstoffe) zusätzliche Randbedingungen:

- Aufstellungsdichte (Einwohner je Standplatz)
- Zugänglichkeit (Auto, Fußgänger),
- Lage zu anderen Einrichtungen der Infrastruktur (Läden, Haltestellen etc.),
- Einsehbarkeit (wilde Ablagerung von Abfällen).

Bei der Ausarbeitung eines Stichprobenplanes sind diese vorher zu erhebenden Daten analog z.B. der Wertigkeit der Bebauungsstruktur einzubeziehen, so daß sich für die Probenahme andere bzw. zusätzliche Schichtungen wie bei Holsystemen ergeben können.

Beispielhaft sei an dieser Stelle die Probenahme für 3 m<sup>3</sup>-Container für Altpapier und Glas/Dosen in einem

ländlich strukturierten Landkreis dargestellt, in dem jeweils durchschnittlich 700 Einwohnern ein Containerstandplatz zur Verfügung steht:

Am regulären Entleerungstag ist der Füllgrad der Behälter bestimmt und der Containerinhalt auf einen Pritschen-LKW umgeladen worden. Außerdem wurden die Zeit seit der letzten Entleerung sowie standortrelevante Daten (Sauberkeit, Lage im Umfeld etc.) festgehalten. Durch die Trennung der Ladefläche des Sammel-LKW in zwei Abteilungen konnten je Sortiertermin ebensoviele Standorte abgearbeitet werden. Das Gesamtgewicht der Behälterinhalte ergab sich durch Addition der Gewichte der Sortierfraktionen (s. auch Tab. 2).

Als Stichprobe wurden 14 Standorte (10,1 %) von Papier- und 12 Standorte (10,2 %) von Glas-/Dosencontainern ausgewählt. Dabei wurden von den Glas-/Dosencontainern nur solche Stellplätze in die Probe einbezogen, an denen auch Papiercontainer standen, so daß auch in der Probenahme sich das Zusammenspiel beider Systeme widerspiegelte. An den beiden zusätzlich beprobten Standplätzen für Papiercontainer waren keine Glas-/Dosenbehälter aufgestellt. Die mit rund 10 % der insgesamt aufgestellten Behälter relativ niedrig angesetzte Stichprobenzahl konnte in diesem Fall als vertretbar angesehen werden, da die Unterschiede bei den Standorten gleicher Kategorie (Lage, Umfeld etc.) über das gesamte Untersuchungsgebiet minimal waren.

**Tabelle 3: Einflüsse auf die Probenahme für die Sieb- und Sortieranalyse bei verschiedenen Haushaltsabfallarten und Sammelsystemen**

Einflußgrößen	Holsysteme			Bringsysteme	
	Wertstoffe	Bioabfall	Misch- und Restmüll	Grünabfälle	Wertstoffe
Behältergröße	ja	ja	ja	nein	nein
Jahreszeit	nein	ja	(ja)	ja	nein
Bebauungsstruktur	ja	ja	ja	ja	ja
Grünflächenanteil	nein	ja	(ja)	ja	nein
Zugänglichkeit Standplatz	nein ) <sup>1</sup>	nein ) <sup>1</sup>	nein	ja	ja
Standplatzlage im Umfeld	nein ) <sup>1</sup>	nein ) <sup>1</sup>	nein	ja	ja
Aufstellungsdichte	-	-	-	ja	ja
Angaben in Klammern: Verbindung mit anderen Sammelsystemen beachten! Striche bedeuten "keine Relevanz"					
) <sup>1</sup>	Unterschiede ergeben sich nur zwischen direkt einem Haushalt zugeordneten (z.B. Ein- bzw. Zweifamilienhausbebauung) und gemeinschaftlich genutzten Behältern				

### Sperrmüll

Aufgrund seiner Stückgröße und Zusammensetzung unterscheidet sich der ja eigentlich ebenfalls zu den Abfällen aus Haushaltungen gehörende Sperrmüll ganz wesentlich von jenen, was zumindest sortiertechnisch eine andere Vorgehensweise erfordert. Bezüglich der Auswahl der Stichprobe nach abfalltechnischen Gesichtspunkten gilt das für die Haushalts- und hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle gesagte analog, wobei besonderes Augenmerk auf folgende Einflußgrößen zu richten ist:

- Behältergröße bei der regulären Haus-zu-Haus-Sammlung im Sammelgebiet,
- Angebot an Getrenntsammlensystemen für Wertstoffe, Bioabfälle etc.,
- Abfuhrhythmus und Sperrmüllsammelsystem und
- Siedlungsstruktur.

Da eine händische Sortierung von Sperrmüll nahezu unmöglich ist (die einzelnen Abfallbestandteile verhaken sich bei der üblichen Einsammlung in Preßmüllfahrzeugen derart, daß sie mit vertretbarem Aufwand nicht mehr voneinander getrennt werden können), empfiehlt es sich, eine optische Klassierung entweder im Sammelgebiet direkt oder an der Abladestelle vorzunehmen. Dabei werden automatisch ganze Sammeltouren als Stichprobe erfasst, was bei der Heterogenität des Probenmaterials eine deutlich bessere Datenbasis ergibt.

Oftmals genügt bei Sperrmüll-Untersuchungen eine Unterscheidung in brennbare/nicht brennbare und

kompostierbare Bestandteile, da eine Abtrennung von verwertbaren Stoffen bei dieser Abfallart nur im Vorfeld (Haushalt bzw. Vorabsammlung einzelner Fraktionen) Sinn macht.

### Gewerbe- und Baustellenabfälle

Bei den Gewerbeabfällen stellt die Herkunft der Abfälle nach Branchen das Hauptkriterium für die Stichprobenauswahl dar, da sich die Zusammensetzung naturgemäß v.a. hiernach richtet. Eine Sortierung bzw. Klassierung dieser Abfälle wird daher fast immer branchenspezifisch durchgeführt werden. Eine Ausnahme hiervon bilden die vermischt eingesammelten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle, die bereits im Abschnitt Haushaltsabfälle diskutiert worden sind.

Die Probenahme bei Gewerbeabfällen richtet sich demnach v.a. nach den Gegebenheiten in den jeweiligen Produktionsstätten, wobei für die Auswahl eines oder mehrerer branchentypischer Betriebe z.B. die Produktionstechnik, aber auch die Betriebsgröße eine Rolle spielen. Da auch für Gewerbeabfälle die Regel gilt, daß an der Quelle getrennte Abfälle die höchste Wertstoffqualität ergeben, wird die Probenahme nach Abfallanfallstellen die meistgewählte Methode sein.

Zur statistischen Absicherung der Analysedaten tritt daher die Verteilung der Probenahmeterminale über die Zeitachse neben der Bestimmung der Probenmenge in den Vordergrund. Allgemeingültige Regeln können aufgrund der großen möglichen Bandbreite von Untersuchungszielen, die ja die Probenahme ganz wesentlich beeinflussen, nicht angegeben werden. Hier wird von Fall zu Fall ein Probenahmeplan erarbeitet werden müssen.

Für vermischt anfallende Gewerbeabfälle und die meist ebenfalls vermischt anfallenden Baustellenabfälle gelten sinngemäß die selben Regeln wie für Haushaltsabfälle, wobei auf die Verteilung der einzelnen Probenahmen (jeweils i.d.R. ganze Behälter) über die Zeit bzw. die Festlegung der Probenmenge nach dem gesamten Abfallanfall das Hauptaugenmerk zu richten ist.

Eine relativ einfache Methode, einen Überblick über Zusammensetzung, Qualität und Herkunft der Gewerbeabfälle eines Entsorgungsgebietes zu erhalten, stellt die optische Klassierung (Sichtung) der an der Deponie bzw. Verbrennungsanlage angelieferten (i.d.R. vermischten) Chargen dar. In die Stichprobe werden hierbei alle im Untersuchungszeitraum anliefernden Fahrzeuge aufgenommen, wobei der Umfang der Stichprobe so gewählt sein soll, daß ein möglichst hoher Prozentsatz der regelmäßigen Anlieferer (80-90%) erfasst wird. Dies bedeutet für die Praxis, daß mindestens eine Woche lang Daten erhoben werden müssen. Dabei ist darauf zu achten, daß keine Unregelmäßigkeiten, wie Feiertage oder Urlaubszeiten, die Stichprobe beeinflussen. Eine Wiederholung der Untersuchung zu verschiedenen Jahreszeiten ist zumindest in den Entsorgungsgebieten zu empfehlen, die einen hohen Anteil an nativ organischen Gewerbeabfällen aufweisen (Saisonbetriebe).

### **1.2.2 Durchführung der Analyse**

In diesem Abschnitt soll der praktische Ablauf der Analyse der Zusammensetzung von Abfällen behandelt werden. Es lassen sich drei Möglichkeiten bzw. Schritte unterscheiden:

- Siebung,
- Handsortierung und
- optische Klassierung.

Tabelle 4 zeigt im Überblick die für die Abfallarten

- Hausmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall,
- Wertstoffgemische,
- sortenreine Wertstoffe und Bioabfall,
- Gewerbeabfälle und
- Sperrmüll

sinnvollerweise durchzuführenden Analysenschritte, die im folgenden ausführlich beschrieben werden. Beispielhaft ist in Bild 3 der Ablauf einer Sieb- und Sortieranalyse von vermischt eingesammelten Haushaltsabfällen bzw. Restabfällen nach der Abtrennung von Wertstoffen und/oder Bioabfall dargestellt.

### Siebung

Sinn der Absiebung einer Abfallprobe ist ihre Auftrennung in separat leicht von Hand zu sortierende Fraktionen

bzw. die Anreicherung von bestimmten Stoffgruppen. Als Siebschnitte werden im allgemeinen 8, 40 und 120 mm gewählt, wobei i.d.R. nur die Fraktion > 40 mm als ganzes händisch in Stoffgruppen aufgeteilt wird. Kleinere Abfallbestandteile sind mit den auf jeden Fall vom Sortierpersonal zu verwendenden Lederhandschuhen nicht oder nur schwer zu greifen. Analog der Nomenklatur der Bundesweiten Hausmüllanalyse [2] ergeben sich bei der beschriebenen Vorgehensweise die Siebfraktionen

- Feinmüll (0-8 mm),
- Mittelmüll (8-40 mm) und
- Grobmüll (40-120 mm und > 120 mm).

Die Fraktionen Fein- und Mittelmüll sind im allgemeinen so homogen, daß zur Bestimmung von Kenndaten (z.B. Schüttgewicht, Wassergehalt, Glühverlust, Heizwert etc.) ohne Probleme eine Mischprobe gezogen werden kann. Bei Bedarf ist es mit vertretbarem Aufwand möglich, eine Stichprobe der Fraktion 8-40 mm (sinnvollerweise ca. 10 Gew.-%) auf einzelne Stoffgruppen nachzusortieren. Der manuellen Sortierung problemlos zugänglich sind die Siebfraktionen > 40 mm. Die Anzahl der auszulesenden Stoffgruppen richtet sich nach dem Ziel der Untersuchung bzw. der Abfallart.

Die Vorschaltung einer Siebanalyse empfiehlt sich für alle Abfallarten mit einem hohen Feinanteil. Dazu gehören v.a. relativ trockene Haushaltsabfälle (Mischmüll, Wertstoffgemische, Restmüll) sowie hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, je nach Untersuchungsziel bzw. Abfallzusammensetzung aber auch Gewerbe- und Baustellenabfälle.

Bei vermischtes eingesammeltes Wertstoffen (z.B. DSD-Material oder Mehrkomponenten-Wertstofftonne) kann die Absiebung insofern angebracht sein, als es keinen Sinn macht, Abfallbestandteile bestimmten Stoffgruppen zuzuordnen, die dann in einer großtechnischen Sortieranlage auf jeden Fall abgesiebt und zu den Reststoffen gelangen würden. Hier ist allenfalls eine Nachsortierung einer Stichprobe des Siebdurchganges zur Feststellung von bestimmten Anreicherungen angebracht. Andererseits kann auf eine Siebung ganz verzichtet werden, wenn nur bestimmte Stoffe ausgelesen werden sollen. Eine Entscheidung wird von Fall zu Fall je nach Zielrichtung der Analyse gefällt werden müssen.

Sortenrein erfasste Wertstoffe (z.B. Glas oder Papier) werden in den meisten Fällen nur auf Ungehörigkeiten sortiert, so daß eine Siebung entfallen kann. Bioabfälle eignen sich zum einen aufgrund ihres teilweise sehr hohen Wassergehaltes nur sehr eingeschränkt für eine Absiebung, zum anderen wird es normalerweise nur auf den Störstoffanteil ankommen; eine Fraktionierung nach Siebschnitten erübrigt sich daher ebenfalls.

Sperrmüll eignet sich wegen seiner Stückgröße und des bereits beschriebenen Zustandes nach der Einsammlung (Preßplattenfahrzeug) nicht für eine Siebanalyse.

Zur Absiebung der beschriebenen Abfallarten können sowohl Flach- als auch Trommelsiebe eingesetzt werden. Für die praktische Durchführung empfiehlt es sich, die Durchsatzleistung so zu wählen, daß eine Tagesprobenmenge (bei Haushaltsabfällen ca. 1.200 kg) von derselben Mannschaft sowohl abgesiebt als auch nach Stoffgruppen sortiert werden kann, einschließlich evtl. Nachsortierungen der Fraktion 8-40 mm.

Die Durchführung der Siebung sollte an einem wind- und regengeschützten Ort stattfinden. Bei der Siebbeschickung ist darauf zu achten, daß alle Tüten, Säcke und sonstigen Behältnisse geöffnet und entleert werden. Eine Probenahme zur Nachsortierung oder für Laboranalysen muß sofort im Anschluß an den Siebvorgang erfolgen, um Feuchtigkeitsverluste zu vermeiden (Verfälschung von Gewicht und Wassergehalt). Sämtliche Gewichtsdaten sind zu protokollieren, auch für entnommene Proben und Kehrlicht, da nur so eine saubere Mengenbilanz (Sieblinie) zu gewährleisten ist.

**Benötigte Utensilien:**

1. Siebmaschine
2. Behälter für die Feinfraktionen < 40 mm
3. Stabile, ausreichend große Folien oder Planen für die Fraktionen > 40 mm
4. Schaufeln und Gabeln
5. Waagen
6. Formulare und Schreibzeug
7. Probenbehälter (Laborproben)
8. Je nach Größe der Siebmaschine: Aufgabeförderband
9. Staubmasken für das Personal (trockene Abfälle)

**Handsartierung**

Die Ermittlung der stofflichen Zusammensetzung von Abfällen läßt sich exakt nur über eine Handsortierung feststellen. Je nach Abfallart wird die Anzahl der auszusortierenden Stoffgruppen stark variieren. In der Regel steht die Frage nach der Verwertbarkeit der Abfallströme bei Sortieranalysen im Vordergrund. Aber auch die Befrachtung mit Problemstoffen und/oder Schadstoffeinträge können von Interesse sein. Je nach Abfallart werden die Sortierfraktionen positiv oder negativ ausgelesen.

Bei der Positivauslese werden alle interessierenden Stoffgruppen von Hand separiert und getrennt gewogen. Diese Vorgehensweise wird v.a. bei vermisch eingesammelten Haushaltsabfällen, Restabfällen nach der Abschöpfung von Wertstoffen und/oder Bioabfall, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen aber auch bei vermischten Gewerbeabfällen angewandt. Der Sortierrest repräsentiert in diesen Fällen entweder alle nicht stofflich zu verwertenden Abfälle oder den "vegetabilen Rest", der einer Kompostierung zugeführt werden könnte.

Eine Negativauslese ist immer dann angebracht, wenn der beprobte Abfallstrom in seiner Zusammensetzung sehr homogen ist. Dies ist z.B. bei sortenrein erfassten Wertstoffen und Bioabfällen der Fall. Auch Monochargen aus dem Gewerbeabfallbereich werden sinnvoller nach dieser Methode sortiert. Der Sortierrest stellt bei dieser Verfahrensweise die gereinigte Wertstoff- bzw. Bioabfallfraktion dar.

Natürlich kommen je nach Ziel der Untersuchung auch Mischformen von Positiv- und Negativauslese vor. So wird z.B. bei der Sortierung des Inhaltes von Depotcontainern für Glas neben den Ungehörigkeiten auch gleichzeitig eine Trennung der Gläser nach Farben und ganzen Gebinden/Scherben vorgenommen werden.

Allgemein gilt, daß mit einem Sortiertrupp mit sechs bis acht Arbeitskräften bis zu 20 Fraktionen (vermischter Hausmüll) in einem Durchgang ausgelesen werden können, wobei je nach Häufigkeit des Auftretens einer Stoffgruppe von einer Sortierkraft zwischen einer und vier Fraktionen bewältigt werden.

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Vorgehensweise bei diversen Abfallarten, in Bild 4 ist beispielhaft ein Bandbelegungsplan für die Sortierung vermisch eingesammelter Haushaltsabfälle dargestellt.

Die genaue Wägung der einzelnen Fraktionen ist neben der Handsortierung selbst das A und O der Sortieranalyse. Es empfiehlt sich, nur eine Person mit dem Wägeprotokoll zu beauftragen (ständiger Wechsel führt zu Fehlern, z.B. andere Benennung von Stoffgruppen). Es ist darauf zu achten, daß alle Stoffgruppen und auch alle Reste (Kehricht) gewogen werden. Zumindest arbeitstäglich sind die Waagen zu überprüfen. Das Wiegepersonal muß in die Funktionsweise der einzelnen Waagen genau eingeführt sein. In den Wiegeformularen sind alle Brutto- und Taragewichte sauber zu protokollieren (Übertragungsfehler bei der Berichtserstellung).

**Tabelle 4: Sinnvolle Analysenschritte bei der Feststellung der Zusammensetzung verschiedener Abfallarten**

Abfallart	Siebung	Handsortierung	optische Klassierung
vermischter Hausmüll ) <sup>1</sup> und Restmüll	ja	ja	nein
vermischte Wertstoffe	optional	ja	nein
sortenreine Wertstoffe und Bioabfall	nein	ja	nein
Gewerbe- und Baustellenabfälle	optional	ja	ja
Sperrmüll	nein	nein	ja
) <sup>1</sup> einschließlich hausmüllähnlicher Gewerbeabfall			

**Benötigte Utensilien:**

**I. Sortierung**

1. Sortierband. Bandbelegungsplan für die Sortierung vermisch eingesammelter Haushaltsabfälle siehe Anlage IV.
2. Sortiergefäße (120/240 l MGB): Die Anzahl der Behälter sollte der doppelten Anzahl der Sortierfraktionen entsprechen.
3. Sortierwannen (5-20 l Inhalt): Anzahl ca. 5, Verwendung für mengenmäßig kleine Stoffgruppen (wie z.B. Problemstoffe) bzw. für die Nachsortierung (z.B. Metalle in magnetische und nicht magnetische).
4. Für den Bandüberlauf (je nach Sortierband):
  - a) Stabile Foliensäcke mit ca.150-200 l Inhalt und Befestigung für das Band oder

- b) 240 l MGB (passen nicht zu jedem Förderband) oder
- c) Holz- bzw. Plastikboxen.
- 5. Filzschreiber (permanent), um die Sortierbehälter mit ihrem Taragewicht zu beschriften.
- 6. Krepp- bzw. Paketband für evtl. Sonderbeschriftungen.
- 7. Magnet für die Nachsortierung der Metalle in magnetische und nicht magnetische.
- 8. Große, starke Folien zum Abdecken der Abfallhaufen bei Regen und Sonnenschein (Wassergehalt!).

**II. Wägung**

- 1. Mindestens zwei Sackwaagen für Gewichte bis 150 kg (MGB-Wiegung).
- 2. Eine kleine elektronische Waage plus Batterien für geringe Gewichte bis 10 kg.
- 3. Beim Einsatz von 1,1 m<sup>3</sup>-Containern (z.B. Einsammlung im Umleerverfahren) große Waage plus

Rampe.

**III. Werkzeug und elektrische Ausrüstung**

- 1. Schaufeln (Kohlenschaufel und Spitzschaufel), Gabel, Hakengabel, Handfeger und Besen.
- 2. Kompletter Werkzeugkasten.
- 3. Öl und Schmierfett (Antriebsketten, Lager, Waagen).
- 4. Kabeltrommel (220 V).
- 5. Kabelverteiler (220/380 V) plus evtl. Adapterkabel (z.B. 32A auf 16A/380V).
- 6. Phasenwechsler (380 V).
- 7. Verlängerungskabel (380 V).

**IV. Arbeitsschutz**

- 1. Bei Glassortierungen Schutzbrille.
- 2. Bei staubenden Abfällen Atemschutzmasken.
- 3. Bei Aufenthalt in fremden Werkshallen Schutzhelme.
- 4. Stabile Lederhandschuhe (evtl. gummiert bei nassen Abfällen).
- 5. Regenjacken und Thermojacken (je nach Jahreszeit und Wetter).
- 6. Sicherheitsschuhe und robuste Arbeitskleidung.
- 7. Handwaschpaste und Hygienepapier.
- 8. Verbandskasten; Adressen und Telefonnummern von Ärzten vor Ort.

**V. Büroausrüstung**

- 1. Schreibzeug (Bleistifte, Kugelschreiber, Farbstifte, Radiergummi, Spitzer etc.).
- 2. Taschenrechner und evtl. Laptop plus Disketten, Ladegerät und Batterien zur Auswertung vor Ort.
- 3. Formulare für die Sortierung (Gewichte etc.) und Sammelisten für die morgentliche Abholung der

Proben plus Stadtkarten.

**VI. Probenahme**

- 1. Probenbehälter mit Deckel und PE-Beutel (z.B. Proben der Fraktion < 40 mm).
- 2. Folienschweißgerät für Probenbeutel.
- 3. Laborschaukeln zum Einfüllen der Proben (Mehlschaufeln).
- 4. Verstärkte Folie zur Herstellung einer Mischprobe.

**VII. Fahrzeuge**

- 1. LKW für den Transport von Siebmaschine, Bändern, Waagen, Sortierbehältern etc.
- 2. Kleinbus für den Personentransport.
- 3. Für die Probenahme geeignete Sammelfahrzeuge:
  - a) Müllfahrzeug (kein Trommel Müllfahrzeug -> Zerkleinerung der Probe!).
  - b) LKW mit Ladebordwand zum Sammeln mit 1,1m<sup>3</sup>-Containern (Umleeren der Müllgefäße).
  - c) LKW mit Pritsche und Unterteilung der Ladefläche (z.B. für Proben aus Depotcontainern ->

Umleerung!)

**Tabelle 5: Sortierfraktionen für verschiedene Abfallarten**

Positivauslese		Negativauslese	Positiv- oder Negativauslese ) <sup>1</sup>	
vermischter Hausmüll ) <sup>2</sup> , Restmüll	vermischte Wertstoffe	Bioabfall	sortenreine Wertstoffe	Gewerbe- und Baustellenabfälle
<u>Papiere</u> - sauberes Papier - Druckerzeugnisse - Restpapier (ohne Hygienepap.)  <u>Pappe/Karton</u>  <u>Kunststoffe</u> - Folien - Behälter - Sonstige  <u>Glas</u> (nach Farben)  <u>Metalle</u> - magnetisch - nicht magnetisch  <u>Verpackungsverbund</u>  <u>Materialverbund</u>  <u>Textilien</u>  <u>Wegwerfwindeln</u>  <u>Mineralien</u>  <u>Holz, Leder, Gummi, Horn, Knochen</u>  <u>Problemstoffe</u>  <u>Bandüberlauf</u>	<u>Papiere</u> - verwertbar (verschied. Sorten) - nicht verwertbar  <u>Pappe/Karton</u>  <u>Kunststoffe</u> - verwertbar (evtl. nach Sorten) - nicht verwertbar  <u>Glas</u> (nach Farben) - ganze Gebinde - Scherben  <u>Metalle</u> - magnetisch - nicht magnetisch  <u>Verpackungsverbund</u>  <u>Textilien</u>  <u>Rest</u>	Alle Störstoffe, wie z.B.  <u>Metalle</u>  <u>Kunststoffe</u>  <u>Glas</u>  und alle anderen nicht kompostierbaren Stoffe	I.d.R. Negativauslese sämtlicher Ungehörigkeiten, z.B. bei  <u>Papier</u>  <u>Glas</u>  <u>Kunststoffen</u>  aber auch positive Auslese von Fraktionen, z.B. bei  <u>Papier</u> - nach Qualitäten  <u>Glas</u> - nach Farben - Scherben  <u>Kunststoffen</u> - nach Sorten	Bei <u>Mischabfällen</u> :  Positive Auslese von Wertstoffen und Problemstoffen  Bei <u>Monochargen</u> :  Negative Auslese von Ungehörigkeiten
) <sup>1</sup> je nach Zielsetzung der Sortieranalyse ) <sup>2</sup> einschließlich hausmüllähnlicher Gewerbeabfall				

Das Ablaufschema für eine Sieb- und Sortieranalyse für vermischte Haushaltsabfälle bzw. Restabfälle aus Getrennsammelsystemen ist in der Anlage III wiedergegeben.

Am Ort der Sortierung oder zumindest in der Nähe sollte sich ein Betriebsgebäude mit Waschgelegenheit, Toiletten und Pausenraum befinden. Die Möglichkeit der Telefonbenutzung erleichtert viele vor Ort notwendige Organisationsarbeiten.

**Optische Klassierung**

Läßt sich eine Handsortierung aufgrund der Beschaffenheit der zu untersuchenden Abfälle (z.B. Sperrmüll, s.a. Kap. 1.1) oder der Notwendigkeit einer sehr großen Stichprobe (z.B. Gewerbeabfall, s.a. Kap. 1.1) nicht durchführen und/oder besteht nur die Notwendigkeit, einen ersten, nichtsdestotrotz fundierten Überblick über die Zusammensetzung der zu untersuchenden Abfälle zu erhalten, ist die Methode der Wahl die optische Klassierung, auch Sichtung genannt. Im folgenden wird nun beispielhaft die Durchführung einer Gewerbeabfallsichtung beschrieben, da für diese Abfallart die optische Klassierung nach Stoffgruppen am

gebräuchlichsten ist. Die beschriebene Vorgehensweise kann natürlich analog auch für andere Abfallarten übernommen werden.

Ziel einer Gewerbeabfallsichtung ist es, die Abfallmenge, ihre Zusammensetzung und möglichst die Herkunft der Abfälle zu ermitteln. Daneben kann relativ einfach der Typ der anliefernden Fahrzeuge mit erfasst werden. Im einzelnen werden i.d.R. Daten erhoben über

- den Abfallerzeuger,
- das Gesamtvolumen der angelieferten Abfälle,
- deren Nettogewicht und
- die stoffliche Zusammensetzung nach Volumenanteilen.

Es empfiehlt sich, die angelieferten Chargen in drei Kategorien zu unterteilen, die Auskunft darüber geben, ob und mit welchem Aufwand eine Sortierung nach Stoffgruppen in einer mechanisierten Anlage durchführbar ist:

- "Gut sortierbar": Hoher Anteil eines Stoffes, kaum verschmutzt, trocken.
- "Mittel sortierbar": Mehrere Stoffe, mäßig verschmutzt, trocken.
- "Schlecht sortierbar": Viele Stoffe, stark durchmischt und verschmutzt und/oder feucht.

Als Beispiel für ein Formblatt, das vor Ort zur Schätzung der Volumenanteile der Stoffgruppen, der Einteilung der Sortierbarkeit und zur Zuordnung der Ladungen zu den Wiegedaten verwendet werden kann, soll Tabelle 6 dienen. Über das Fahrzeug-Kennzeichen, Datum und Uhrzeit kann der entsprechende Wiegeschein und, falls im Untersuchungsauftrag enthalten, der Fragebogen, anhand dessen der Fahrer zur Herkunft der Abfälle interviewt wurde, aufgefunden werden. Aus der Art des Fahrzeuges bzw. des Fahrzeugaufbaues lassen sich Rückschlüsse auf den Verdichtungsgrad der Abfälle ziehen und es ist möglich, eine Fahrzeugstatistik zu erstellen.

Die Erfahrung zeigt, daß bei der Errechnung der Abfallgewichte (netto) je Anlieferung über die Schüttgewichte der einzelnen Stoffgruppen und deren geschätztem Volumenanteil ein Fehler von i.d.R. deutlich unter 10 % bezogen auf die gewogene Menge erreicht werden kann. Damit ist sichergestellt, daß die erhobenen Daten eine ausreichende Genauigkeit besitzen, um für abfallwirtschaftliche Planungen herangezogen zu werden.

**Tab. 6: Beispiel für ein Formblatt zur optischen Klassierung von Gewerbeabfällen**

GEWERBEABFALLSICHTUNG (Projekt)	
Datum/Uhrzeit:	Laufende Nummer:
Kfz-Kennzeichen:	Branche:
Sortierbarkeit	Fahrzeug
<input type="radio"/> gut (hoher Anteil eines Stoffes, kaum verschmutzt, trocken) <input type="radio"/> mittel (mehrere Stoffe, mäßig verschmutzt, trocken)  <input type="radio"/> schlecht (viele Stoffe, stark durchmischt und verschmutzt, und/oder feucht)	<input type="radio"/> Müllfahrzeug  <input type="radio"/> Container mit ..... m <sup>3</sup>  <input type="radio"/> Pritsche  <input type="radio"/> Sonstiges
Volumenprozent	Stoffgruppe
	PAPIER
	PAPPE
	KUNSTSTOFFE
	VERPACKUNGSGEMISCH
	HOLZ
	PALETTEN
	TEXTILIEN
	GRÜNABFÄLLE
	SONSTIGES ORGANISCHES
	MINERALISCHES
	HAUSMÜLLÄHNLICH
	SONSTIGES

In Tabelle 7 sind anhand eines Untersuchungsbeispiels zur Verdeutlichung der großen Schwankungsbreiten die über das bekannte Volumen und die gewogene Menge errechneten Schüttgewichte von Gewerbeabfällen im Transportfahrzeug bzw. -behälter dargestellt. Hierbei handelt es sich jeweils um die Schüttgewichte der gesamten Ladungen.

**Tabelle 7: Spezifische Gewichte von vermischten Gewerbeabfällen in [kg/m<sup>3</sup>] im Transportfahrzeug bzw. -behälter. Beispiele aus einer Untersuchung in zwei süddeutschen Landkreisen im Jahre 1991.**

Fahrzeug, Behälter	Sortierbarkeit			Anzahl der Messungen bei Sortierbarkeit		
	gut	mittel	schlecht	gut	mittel	schlecht
Container mit Presse	159 (84-301)	148 (68-284)	229 (108-541)	14	14	14
Container ohne Presse	116 (26-326)	106 (46-320)	131 (38-370)	31	37	89
Müllfahrzeug (Preß- platte)	162 (55-242)	288 (223-390)	274 (110-418)	3	6	17
Pritschenfahrzeug	140 (40-380)	133 (96-168)	129 (70-200)	7	4	7
( ) in Klammern: Streubereich						

**Benötigte Utensilien:**

1. Schreibbrett und Bleistifte
2. Formulare
3. Arbeitskleidung (Sicherheitsschuhe etc.)
4. Regenschirm und Regenjacken (je nach Witterung)

**1.3 Chemisch-physikalische Beschaffenheit**

Die Feststellung der chemischen und physikalischen Beschaffenheit von Abfällen dient meist ihrer Einordnung in Kategorien, wie z.B. hohes/niedriges Schadstoffpotential, einsetzbares Behandlungsverfahren etc., oder der Festlegung von Qualitätsmerkmalen, wie z.B. Nährstoffgehalt, Brennwert u.ä.. Für die Genauigkeit der analysierten Werte sind die repräsentative Probenahme aus dem oft sehr heterogen zusammengesetzten Stoffstrom und die gewissenhafte Probenaufbereitung von der frischen Probe bis zur Analysenprobe von entscheidender Bedeutung.

Schwerpunkte dieses Teilkapitels sind daher Probenahme und Probenaufbereitung aus Abfallgemischen und homogenen Stoffströmen (z.B. Siebfractionen mit kleinem Korndurchmesser), wie sie bei Sieb- und Sortieranalysen anfallen. Nicht behandelt werden die einzelnen Analysemethoden, die im einschlägigen Schrifttum (Deutsche Einheitsverfahren, DIN-Normen, Analysenvorschriften der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. u.v.m.) erschöpfend behandelt sind. Vielmehr soll das Hauptaugenmerk auf dem Zweck der Analysen, die bei einer Abfallsortierung sinnvollerweise vorgenommen werden können, liegen.

**1.3.1 Probenahme**

Die sorgfältige Vorbereitung der Probenahme beinhaltet folgende Schritte:

- Festlegung des Untersuchungszieles
  - Relevanz der einzelnen Sieb- und Sortierfraktionen
  - Bestimmung der Untersuchungstiefe
  - Art der der Sortierung nachgeschalteten Laboranalysen
- Ausarbeitung eines Probenahmeplanes
  - Festlegung der Probenmengen und der zu beprobenden Fraktionen
  - Verteilung der Probenahme über den Untersuchungszeitraum

- Vorgeschaltete Maßnahmen (z.B. Nachsortierung, erste Zerkleinerung)
- Erstellung von Probenahmeprotokollen
- Bereitstellung von geeigneten Probenahmegefäßen in genügender Anzahl und von Gerätschaften zur Mischung und Teilung großer Proben (verstärkte Folie, Schaufeln etc.)

Ausschlaggebend für den Umfang einer Stichprobe für Laboranalysen ist der Grad der Homogenität des zu beprobenden Abfallstromes. Da bei Sieb- und Sortieranalysen i.d.R. sehr heterogene Gemische untersucht werden, kann eine sinnvolle Probenahme nur in einzelnen Stoffgruppen bzw. Siebfractionen vorgenommen werden. Als Beispiel soll die Bestimmung des Glühverlustes von vermischtes eingesammeltes Haushaltsabfällen dienen:

Die getrocknete und staubfein zerkleinerte zur Analyse verwendete Probe wiegt allenfalls 10 g. Zur Sortieranalyse werden für eine Mischprobe mit Berücksichtigung der Bebauungsstruktur aus einem Entsorgungsgebiet mit 100.000 Einwohnern (s.a. Kap. 1.2) 2.880 kg (feucht) eingesammelt, was bei einem Wassergehalt von 40 % 1.728 kg oder  $1,73 \cdot 10^6$  g Trockensubstanz bedeutet. Die Analysenprobe, die ja für die Gesamtprobe repräsentativ sein soll, umfaßt also nur 0,0058 ‰ der Ausgangsmasse. Der Ansatz der Probenahme aus dem Gemisch erledigt sich also von selbst.

Um nun sinnvolle Daten über die chemische und physikalische Beschaffenheit des Gemisches zu erhalten, werden die bei der Sieb- und Sortieranalyse sowieso anfallenden Stoffströme getrennt beprobt und analysiert. Über die Gewichte der einzelnen Fraktionen läßt sich dann auf die ursprüngliche Probe oder Teile hiervon zurückrechnen.

In Tabelle 8 ist beispielhaft dargestellt, welche Sieb- und Sortierfraktionen bei vermischtes eingesammeltes Haushaltsabfällen beprobt werden und welche Mengen zu entnehmen sind. Je nach Untersuchungsziel müssen die einzelnen Fraktionen durch Nachsortieren noch weiter aufgeteilt werden. So wird es z.B. für die spätere Analyse von Schwermetallen notwendig sein, metallische Anteile auch aus der Siebfraction 8-40 mm auszulesen, ebenso können verschiedene Papier- und Kunststoffsorten in diesem Zusammenhang interessieren.

Vor der Probenahme empfiehlt sich für die voluminösen Stoffgruppen Papier, Kunststoffe, nativ organische Stoffe und Reste eine Vorzerkleinerung auf eine Korngröße < 60 mm, was z.B. mit einer Schneidwalzenmühle o.ä. bewerkstelligt werden kann. Dabei können i.d.R. die gesamten an einem Sortiertag ausgelesenen Fraktionen zerkleinert werden, was den Vorteil der Probenmischung und -teilung bietet (Homogenität!).

Bei mehrtägigen Sieb- und Sortieranalysen sind je nach Untersuchungsziel die einzelnen Tagesproben der Analyse zuzuführen (z.B. zur Unterscheidung von einzelnen Sammeltouren oder Behältergrößen etc.) oder es ist eine Mischprobe aus den Tagesproben der jeweiligen Sieb- und Sortierfraktion herzustellen. Die Vorgehensweise bei der statistisch abgesicherten Entnahme von Proben aus einem Sammelgebiet, bis hin zur Analysenprobe, ist ausführlich in [5] beschrieben.

Bei der Probenahme ist auch zu beachten, daß nicht durch die Verwendung falscher Gerätschaften oder Probenbehälter die spätere Laboranalyse beeinflusst wird. Dies wird normalerweise aber nur bei Analysen im Spurenbereich (Schwermetalle, organische Schadstoffe etc.) der Fall sein. Welche Werkstoffe für Gerätschaften bzw. Gebinde geeignet sind, ist vorher festzulegen.

Die beschriebene Vorgehensweise für vermischtes eingesammeltes Haushaltsabfälle läßt sich analog auch für andere Abfallarten, v.a. Wertstoffe (sortenrein und vermischtes), Bioabfälle, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Restabfälle aus Haushaltungen und alle am Sortierband auslesbaren Gewerbeabfälle, anwenden.

Bei grobstückigen Abfällen (z.B. Sperrmüll, Baustellenabfälle) empfiehlt sich i.d.R., über die bei der optischen Klassierung gewonnene stoffliche Zusammensetzung und Werte aus Sekundärstatistiken (z.B. Heizwerte für

Holz, Kunststoffe etc.) auf die Eigenschaften des Gemisches zurückzurechnen. Nur bei speziellen Fragestellungen kann es auch sinnvoll sein, eine größere Charge großtechnisch zu zerkleinern und abzusieben (Beprobung der Siebfraktionen) oder Einzelstücke zur näheren Analyse auszusondern.

**Tabelle 8: Beispiel für die Probenahme aus vermischelt eingesammelten Haushaltsabfällen für Laboranalysen (Gewicht der Gesamtprobe 2.880 kg, feucht)**

Fraktion	Menge		Probenmenge		Probenahme
	[kg]	[%]	[kg]	[%]	
0 - 8 mm	346	12,0	ca. 17	5	volumenstromproportional
8 - 40 mm	855	29,7	ca. 43	5	volumenstromproportional ) <sup>1</sup>
Papier	429	14,9	ca. 43	10	nach Vorzerkleinerung auf < 60 mm ) <sup>1</sup>
Kunststoffe	135	4,7	ca. 7	5	nach Vorzerkleinerung auf < 60 mm ) <sup>1</sup>
organ. Stoffe	533	18,5	ca. 53	10	nach Vorzerkleinerung auf < 60 mm
Metalle	109	3,8	ca. 5	5	n. Vorsort. in magnetisch/nicht magn.
Glas	199	6,9	ca. 10	5	volumenstromproportional ) <sup>1</sup>
Inertes	170	5,9	ca. 9	5	volumenstromproportional ) <sup>1</sup>
Rest	104	3,6	ca. 20	20	nach Vorzerkleinerung auf < 60 mm
Gesamt	<b>2.880 )<sup>2</sup></b>	<b>100,0</b>	<b>207</b>	-	
) <sup>1</sup> evtl. vorherige Nachsortierung in verschiedene Materialgruppen					
) <sup>2</sup> ca. drei Sortiertage!					

### 1.3.2 Probenaufbereitung

Im folgenden soll der Weg einer bereits durch die in Kap. 1.3.1 beschriebenen Maßnahmen vorbehandelten Einzelprobe aus Sieb- und Sortierfraktionen bei der Probenaufbereitung im Labor beschrieben werden. Soweit möglich sollte die Probenmischung und -vereinzelung bereits vor Ort auf dem Sortierplatz geschehen, so daß im Labor nur noch Gebinde mit max. 20 l Inhalt bzw. 10 kg Masse verarbeitet werden müssen. Bild 6 zeigt die Vorgehensweise im Überblick.

Bereits beim Probeneingang im Labor muß eine Sichtung auf Homogenität bzw. Stückgröße vorgenommen werden, um bei homogenen Proben eine erste Mischung und Teilung durchzuführen bzw. die für die Analysen am frischen Material (z.B. pH-Wert, Selbsterhitzungstest etc.) notwendige Menge zu entnehmen. Zur Trocknung gelangen i.d.R. maximal 10 l bzw. 10 kg.

Bei Stückgrößen > 10 mm kann es notwendig sein, vor der Analyse am frischen Material eine Zerkleinerung oder eine Absiebung vorzunehmen. Zerkleinert wird zweckmäßigerweise in einer Messermühle mit 10 mm-Siebeinsatz, die auch bei relativ feuchten Materialien noch gut handhabbar ist. Eine Absiebung kommt nur dann in Frage, wenn der Siebrückstand keinen oder nur einen abschätzbaren geringen Anteil am Analysenergebnis hat (z.B. für Selbsterhitzungsversuche).

Für die Trocknung wird normalerweise ein Trockenschrank, in dem auch voluminöse Proben Platz finden, eingesetzt. Die gewählte Trocknungstemperatur (zwischen 40 und 105 °C) ist abhängig von den nachfolgenden Analyseschritten (z.B. auf organische Schadstoffe o.ä.). Kleinere Probenmengen können auch gefriergetrocknet werden.

Der Trocknung schließt sich eine weitere Probenmischung und -teilung an, wobei Materialien > 10 mm vorher einer Zerkleinerung in einer Messer- (Siebeinsatz 10 mm) oder anderen adäquaten Mühle zugeführt werden. Auch kann es an dieser Stelle im Verfahrensgang sinnvoll sein, eine Nachsortierung auf z.B. Metallteile, Glas o.ä. vorzunehmen, um Verfälschungen der Analysenergebnisse zu verhindern oder um Stoffgruppen, die in nassem Zustand nicht ausgelesen werden konnten, zu separieren. Bei vorhersehbarem späteren größeren Bedarf an Probenmaterial sollte aus dem getrockneten Gut < 10 mm eine erste Rückstellprobe entnommen

werden, die dann bei Bedarf weiter zu verarbeiten ist. Der nicht benötigte Probenrest wird verworfen.

Im zweiten Zerkleinerungsschritt werden von den getrockneten und, wenn nötig, vorzerkleinerten Proben etwa 200-500 g (je nach Schüttgewicht) in Zentrifugalmühlen mit Siebeinsatz, Kugelmühlen, Scheibenschwingmühlen o.ä. bis zur Analysenfeinheit (i.d.R. < 250 µm) vermahlen. Hierbei ist darauf zu achten, daß der Abrieb der Mahlwerkzeuge die nachfolgende Analyse nicht beeinflusst. So scheiden z.B. Mahlwerkzeuge aus Chrom-Nickel-Legierungen, wenn auf Schwermetalle nach AbfklärV, oder Sinterkorund-Mahlbecher (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), wenn auf Aluminium untersucht werden soll, aus. Auch die beim Mahlvorgang auftretenden, teilweise sehr hohen Temperaturen können von Bedeutung sein.

Bei allen Mahlvorgängen mit getrocknetem Material ist mit starker Staubentwicklung zu rechnen. Werden geschlossene Mahlbecher (z.B. Kugel- oder Scheibenschwingmühle) verwendet, spielt dies nur eine untergeordnete Rolle, da hier nur Stäube beim Ein- und Umfüllen von Probenmaterial bzw. beim Absieben auf einem Prüfsieb (Analysenfeinheit) austreten können. Wird allerdings mit Messer- oder Zentrifugalmühlen gearbeitet, so ist das Tragen einer Feinstaubmaske für das Laborpersonal obligatorisch.

Für elastische oder zähe Materialien (z.B. Kunststoffe oder Textilien) kann es erforderlich sein, eine Versprödung des Mahlgutes vor dem Mahlgang durch Kühlung mit flüssigem Stickstoff herbeizuführen. Bei dieser an der Universität Stuttgart entwickelten Methode wird das vorzerkleinerte Probenmaterial in ein mit Flüssigstickstoff gefülltes (Dewar-)Gefäß gegeben. Unter kontinuierlicher Zugabe flüssigen Stickstoffes aus einem Überdruckbehälter direkt in den Einfülltrichter der hierfür verwendeten Zentrifugalmühle mit Siebeinsatz können dann sukzessive kleine Probenmengen (ca. 20 ml), in Stickstoff schwimmend, zudosiert werden.

Der Aufwand bei dieser Methode (Zeit- und Stickstoffverbrauch) liegt sehr hoch und ist daher nur in speziellen Fällen gerechtfertigt. Unbedingt beachtet werden müssen auch Sicherheitsmaßnahmen, wie Tragen von Schutzbrille, Handschuhen und langer Oberbekleidung, um Augenverletzungen und Erfrierungen auszuschließen.

Dem zweiten (Fein-)Zerkleinerungsschritt folgt eine weitere Probenmischung und -teilung, wobei es zuvor erforderlich sein kann, auf einem Prüfsieb die Mahlfeinheit des Probenmaterials zu kontrollieren und eventuelle Rückstände erneut zu vermahlen. Je nach Mahlgut werden dann eine 50-200 g schwere Rückstellprobe und Analysenproben (Anzahl und Masse nach Bedarf) gezogen. Die restliche Probe wird verworfen.

Ablaufschema siehe Anlage V.

### 1.3.3 Analysen

Grundsätzlich ist der Analysenumfang natürlich vom Ziel der durchzuführenden Untersuchungen abhängig. Die nachfolgend aufgeführten Laboranalysen stellen demnach nur einen Vorschlag für eine mögliche Vorgehensweise dar, die v.a. die Erhebung von Basisdaten über die Eignung der bei der Sieb- und Sortieranalyse gewonnenen Fraktionen oder des gesamten untersuchten Materials für verschiedene Verfahren der Abfallbehandlung bzw. -ablagerung im Auge hat.

Unterschieden wird hierbei in Analysen, die auf jeden Fall durchgeführt werden sollten, und solche, die optional in den Untersuchungsumfang aufgenommen werden können, um eine möglichst breite Datenbasis zu erhalten.

#### **Auf jeden Fall sinnvolle Analysen**

In diese Rubrik fallen die Analysen auf

- Raumgewicht
- Wassergehalt
- Organische Substanz (Glühverlust)

- Brennwert ( $H_o$ )

Das Raumgewicht einzelner Fraktionen, eine wichtige Größe bei der Dimensionierung von Behältern, Transportfahrzeugen und sämtlichen Komponenten einer Behandlungsanlage, kann am sinnvollsten bereits vor Ort bei der Sieb- und Sortieranalyse ermittelt werden. Hierzu stehen die Sortierbehälter und entsprechende Waagen zur Verfügung (s.a. Kap. 3.2.1, Behälterkenndaten).

Die Bestimmung des Wassergehaltes ist notwendig, um zum einen mögliche abfalltechnische Behandlungsmaßnahmen einzugrenzen (z.B. Vergärung/Kompostierung) und zum anderen, um den Heizwert ( $H_u$ ) zu berechnen (Leistungsfähigkeit einer Verbrennungsanlage). Der Aufwand zur Bestimmung ist minimal (Wägung vor und nach dem Trocknen, Berechnung), da eine Trocknung der Abfallproben vor einer Weiterverarbeitung im Labor in den allermeisten Fällen sowieso vorgenommen werden muß.

Der Glühverlust kann als Maß für die in der Probe enthaltene organische Substanz verwendet werden. Seine Analyse (Veraschung der Probe im Muffelofen) ist einfach und schnell durchzuführen, wenn die Probe bereits fein vermahlen ist. Um erste Anhaltspunkte über die Zusammensetzung der Probe zu erhalten, kann auch (bei erhöhter Einwaage und mindestens fünf Wiederholungen) vorzerkleinertes Material aus der Messermühle eingesetzt werden.

Gebraucht wird die Analyse des Glühverlustes z.B. zur Feststellung der Eignung der Probe für die biologische Behandlung (im Zusammenspiel mit anderen Parametern, wie Schad- und Nährstoffgehalte etc.) und nach der TA Siedlungsabfall [8] zur Prüfung der Ablagerungsfähigkeit. Der Analysenwert kann auch zur überschlägigen Berechnung des Brennwertes ( $H_o$ ) und des Gesamtkohlenstoffgehaltes (TOC) der Probe herangezogen werden.

Die Analyse des Brennwertes ( $H_o$ ) erfolgt im Kalorimeter und wird an der getrockneten, staubfein zermahlene Probe durchgeführt. Der personelle und apparative Aufwand liegt bereits relativ hoch, so daß die Bestimmung nur an einzelnen Proben interessant ist, für die noch keine abgesicherten Werte vorliegen. Der Analysenwert bildet die Basis für die exakte Berechnung des Heizwertes ( $H_u$ ), der für die Dimensionierung von thermischen Behandlungsanlagen unabdingbar ist.

### Optionale Analysen

Prinzipiell besteht ohne Frage die Möglichkeit, in Abfällen nach allen analysierbaren Stoffen zu suchen. Im Rahmen von Sieb- und Sortieranalysen ist jedoch eine sinnvolle Eingrenzung vorzunehmen, die es ermöglicht, Basisdaten über die Eignung verschiedenster Stoffströme für die unterschiedlichen Abfallbehandlungsverfahren und die Deponierung zu erhalten. Eine erste grobe Einteilung kann vorgenommen werden nach der Analyse auf

- wertgebende Substanzen (v.a. für die Kompostherstellung relevant, aber auch für die evtl. Rückgewinnung von Wertstoffen),
- Schadstoffpotential (Schwermetalle, organische Schadstoffe allgemein, aber auch Salzgehalt und pH-Wert für die Eignung zur biologischen Behandlung),
- Zuordnungskriterien für einzelne Behandlungsverfahren und die Ablagerung (Katalog im Anhang B der TA Siedlungsabfall [8]).

Abhängig vom Untersuchungsziel können dann Umfang und Anzahl der Laboranalysen festgelegt werden. Im folgenden wird eine Auswahl von Analysen, die den genannten drei Hauptgruppen zuzuordnen sind, vorgestellt.

Als wertgebende Substanzen sind für eine geplante biologische Abfallbehandlung mit anschließendem Produktabsatz v.a. Pflanzennährstoffe, wie Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Calcium (Ca) interessant. Für die Analyse kommen hierbei alle prinzipiell verrottbaren bzw. vergärbaren Abfälle in Frage, deren Eignung (in Verbindung mit ihrem Schadstoffpotential) für biologische Verfahren geprüft werden soll. Bestimmt werden können sowohl der leicht lösliche als auch der Totalgehalt.

Ebenso kann das Gaspotential organischer Stoffe als Eignungsprüfung für Biogasanlagen (Methangewinnung) interessant sein, das mit einem Gärtest und nachfolgender Analyse auf Gasmenge und -zusammensetzung

(Gaschromatograph) erhoben werden kann

Zur Feststellung des Schadstoffpotentials von Abfallströmen werden normalerweise Analysen auf deren Schwermetallgehalt (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink nach AbfKlärV) und/oder auf deren Gehalt an organischen Schadstoffen (PCDD/F, PCB, PAK) durchgeführt. Diese Analysen sind v.a. dann interessant, wenn eine Verwertung der beprobten Fraktion oder des Stoffgemisches angestrebt wird. Sie sind (speziell bei organischen Schadstoffen) sehr teuer und können daher nur im vom Untersuchungsziel abgedeckten Einzelfall durchgeführt werden. Auf die speziellen Regeln für die Probenahme und -aufbereitung sei an dieser Stelle ausdrücklich hingewiesen.

Als potentiell schädlich für biologische Prozesse sind zum einen ein niedriger pH-Wert (nur Kompostierung) und zum anderen ein hoher Salzgehalt (Kompostierung und Vergärung) anzusehen. Beide Analysen werden an der frischen Probe im Eluat mittels Elektroden durchgeführt, wobei zur Bestimmung des Salzgehaltes die Leitfähigkeit der Probe gemessen wird. Sie sind schnell und kostengünstig zu erledigen.

Die prinzipielle Eignung eines Stoffes für einen Kompostierungsprozeß kann mittels eines Selbsterhitzungstestes an der feuchten Probe im Dewargefäß durchgeführt werden. Hierzu kann es sinnvoll sein, rottebeschleunigende Zusätze beizumischen.

Was die Zuordnungskriterien für Deponien nach TA Siedlungsabfall anlangt, so sei auf den Anhang B in [8] verwiesen. Festgestellt werden müssen danach

- die Festigkeit der Abfallstoffe,
- deren organischer Anteil im Trockenrückstand,
- die extrahierbaren lipophilen Stoffe,
- eine ganze Reihe von Eluatkriterien (v.a. Schwermetall- und organische Schadstoffgehalte sowie pH-Wert und Leitfähigkeit, insgesamt 17 Analysen).

Alle dort genannten Analysen müssen durchgeführt werden, um die Einordnung von Abfallstoffen nach Deponieklassen bzw. den Nachweis der generellen Ablagerungsfähigkeit zu führen.

Zusammenfassend ist nochmals festzuhalten: Jede Analyse kann in ihrer Aussagekraft nur so gut sein, wie es Probenahme und -aufbereitung zulassen. Gerade bei der Analyse auf Spurenstoffe (teilweise im ppb-Bereich) ist auf eine möglichst repräsentative Probenauswahl und auf eine sorgfältige Behandlung bei der Probenahme und im Labor unter Beachtung der einschlägigen Vorschriften zu sehen, da z.B. bereits minimale Einschleppungen der zu untersuchenden Substanzen durch Gerätschaften oder Gefäße zu starken Abweichungen im Analysenwert führen können.

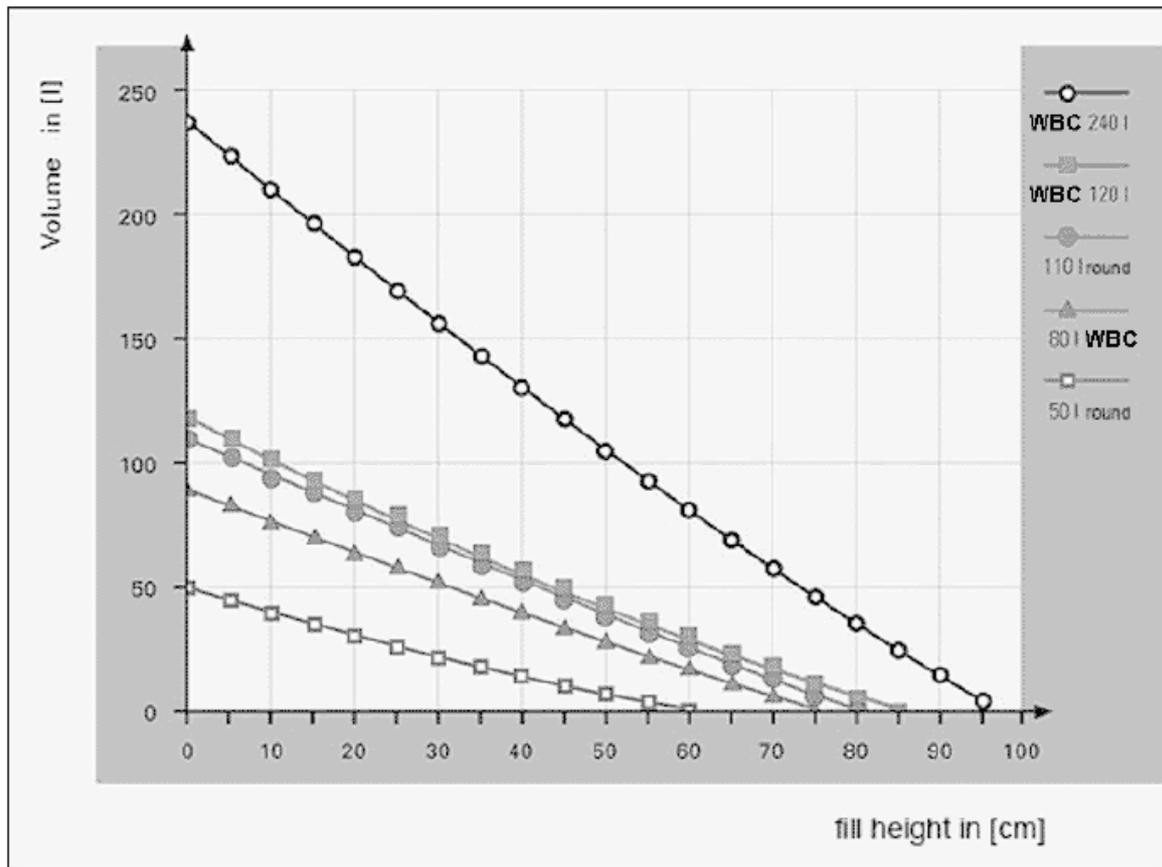


Bild 1: Füllstandskurven Müllbehälter

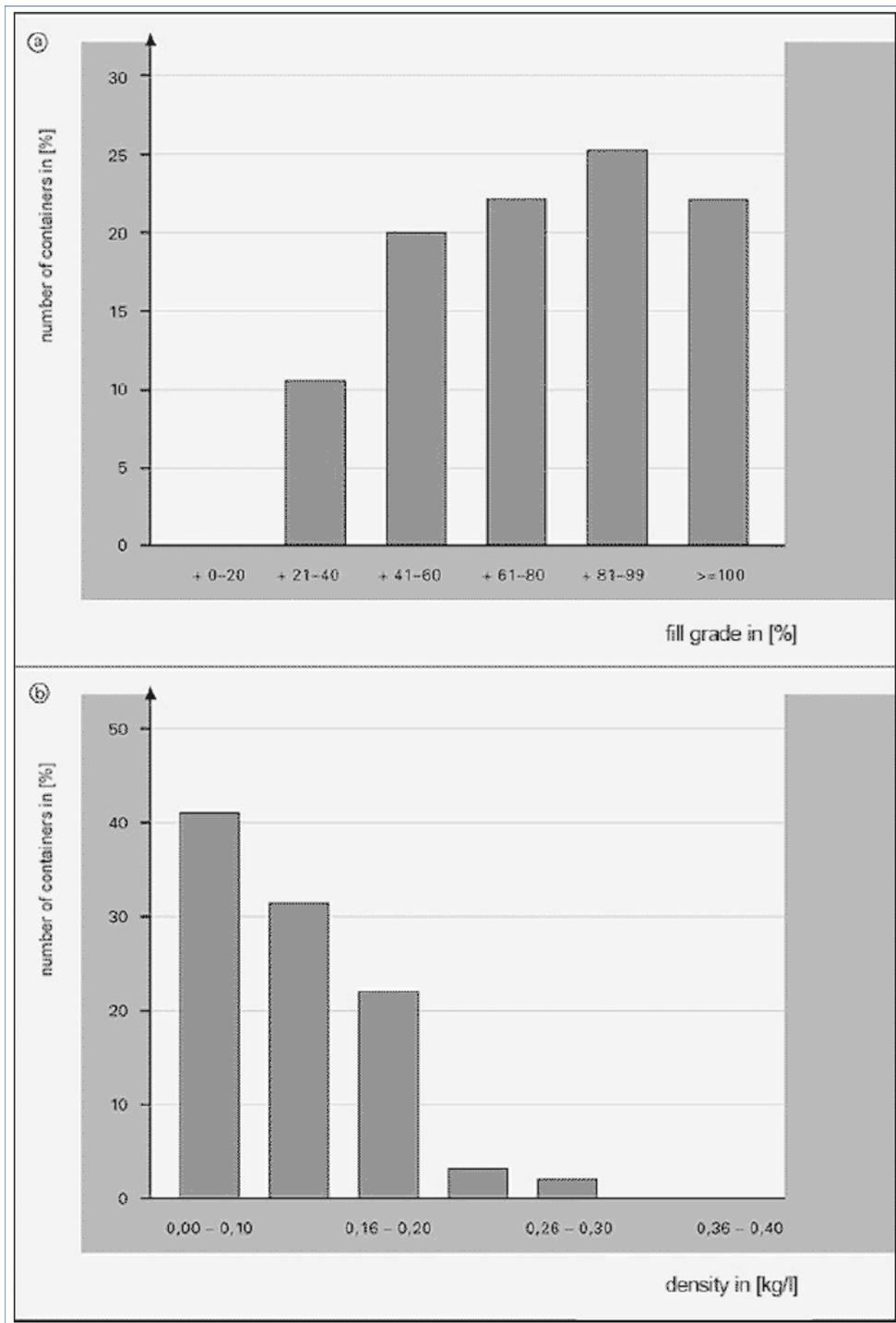


Bild 2: Auswertungsschema Hohlssysteme

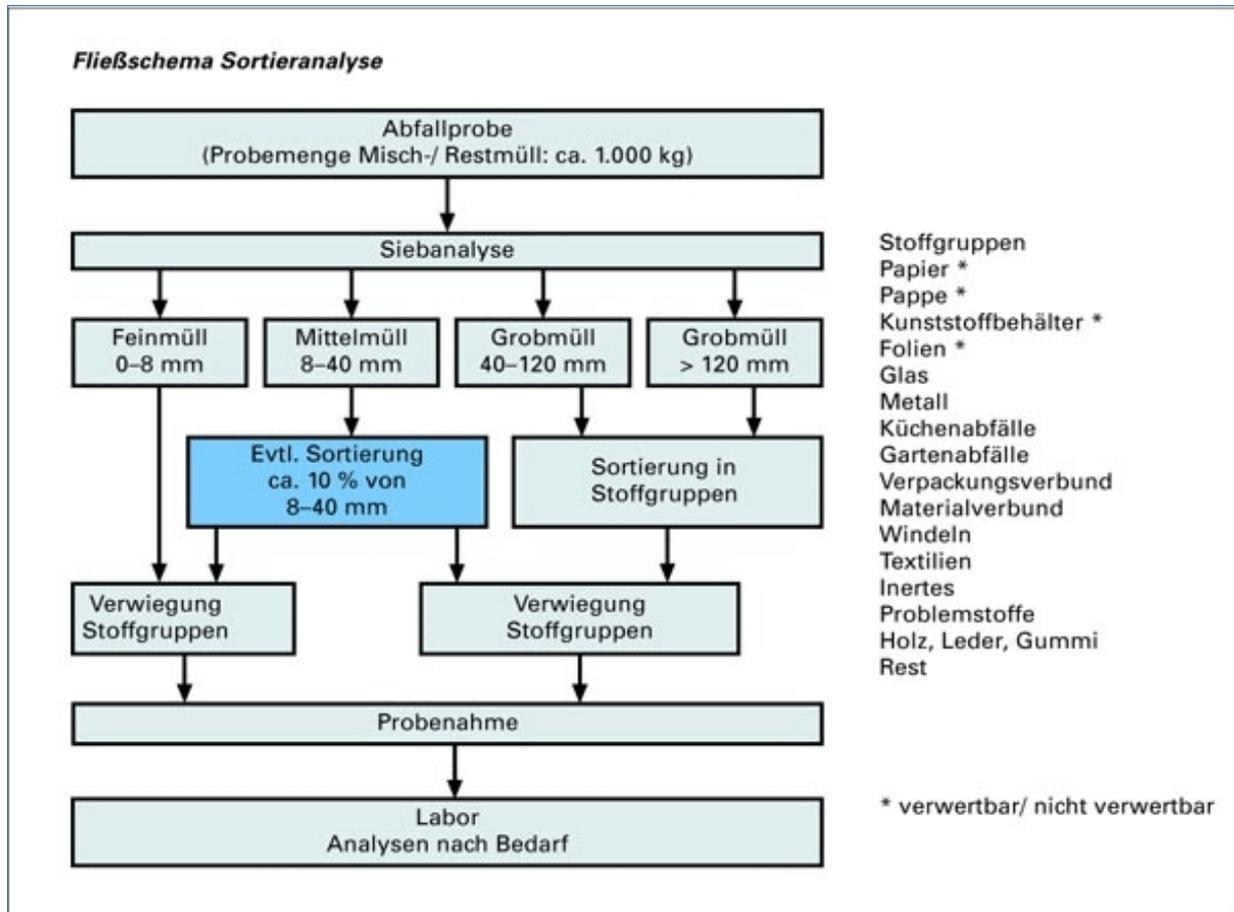
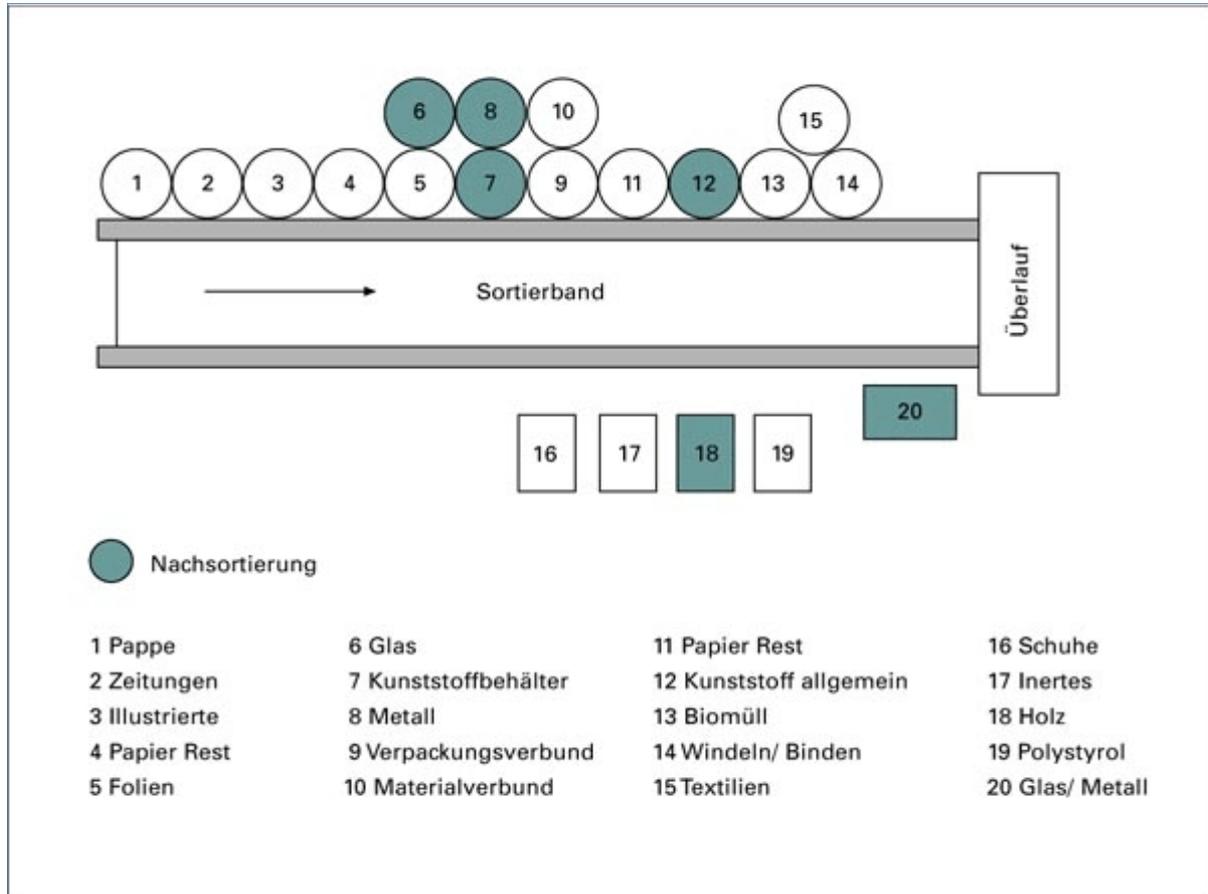


Bild 3: Ablaufschema Sortierung



**Bild 4: Bandbelegung**

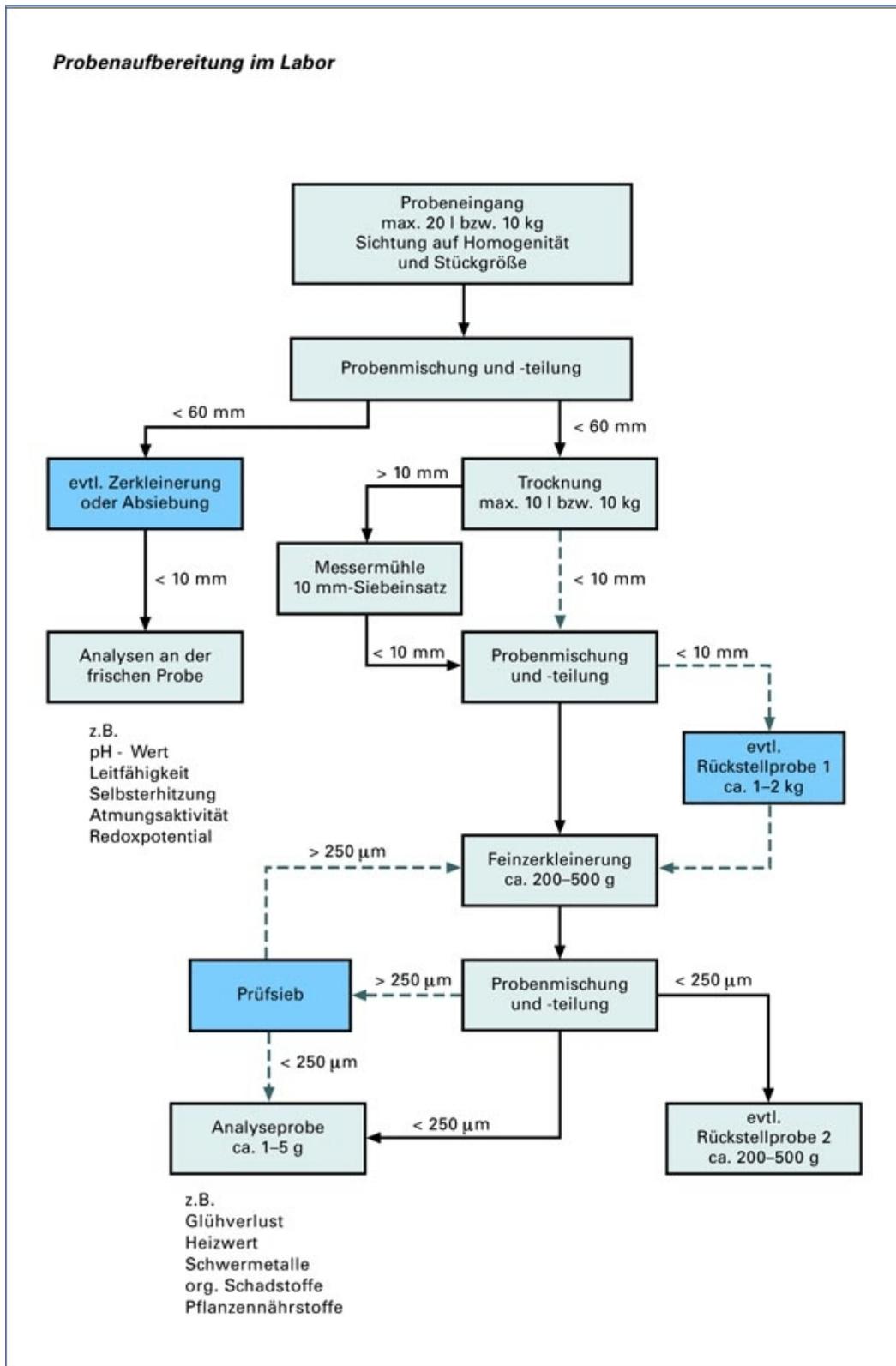


Bild 5: Probenaufbereitung

**1.4 Literatur**

- [1] Eder, G. et al. "Probleme und Lösungsansätze bei der Stichprobenplanung und Auswertung von Hausmüllanalysen", in: Recycling Berlin '79, E. Freitag Verlag, Berlin 1979
- [2] Barghoorn, M. et al. "Bundesweite Hausmüllanalyse 1979/80", Forschungsbericht 103 03 503, Umweltforschungsplan des BMI, Berlin 1981
- [3] Barghoorn, M. et al. "Bundesweite Hausmüllanalyse 1983-85 - Laufende Aktualisierung des Datenmaterials", Forschungsbericht 103 03 508, in: Umweltbundesamt Berichte, Berlin 1986
- [4] Kranert, M. et al. "Erhebungen über die Zusammensetzung von Gewerbeabfällen - Vier Beispiele einer Gewerbemüllanalyse", Studienreihe Abfall Now, Stuttgart 1987
- [5] Greiner, B. "Chemisch-physikalische Analyse von Hausmüll", Forschungsbericht 103 03 502, in: Umweltbundesamt Berichte, Band 7/83, Berlin 1983
- [6] Anonym Merkbblätter M1 bis M6 des VKF, in: Hösel, Schenkel, Schnurer, Müllhandbuch, Kennziffern 1710 und 1720, Lieferung 3/88, E. Schmidt Verlag, Berlin
- [7] Anonym "Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen - PN 2/78 K", Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), in: Hösel, Schenkel, Schnurer, Müllhandbuch, Kennziffer 1859, Lieferung 2/84, E. Schmidt Verlag, Berlin
- [8] Anonym TA Siedlungsabfall - Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993, in: Henselder-Ludwig, R. (Bearb.), Textausgabe mit einer Einführung, Anmerkungen und ergänzenden Materialien, Bundesanzeiger, Köln 1993