

Probenahme fester Abfälle

Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Probenahme fester Abfälle

Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)

Impressum

Rechtliche Bedeutung

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die bundesumweltrechtlichen Vorgaben (bzgl. unbestimmten Rechtsbegriffen und Umfang/Ausübung des Ermessens) und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

R. Philipp (magma AG, Winterthur), F. Bühler (Bachema AG, Schlieren), R. Kettler (BAFU, Bern), K. Morgan (KIBAG RE, Rotkreuz), H. Musch (BAFU, Bern), St. Ringmann (KVA Linth, Niederurnen)

Begleitung BAFU

Abteilung Abfall und Rohstoffe: Hans Musch, Petar Mandaliev

Abteilung Recht: Berenice Iten

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2019: Probenahme fester Abfälle. Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen. Bundesamt für Umwelt, Bern.
Umwelt-Vollzug Nr. 1826; 89 S

Grafik

Firstbrand

Layout

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

© blanke1973, Adobe Stock

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-1826-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2019

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	6	Teil II Vorgehen und Methoden	35
Vorwort	7	7 Planung	36
Abkürzungen und Symbole	8	7.1 Minimale Probenmasse	36
Begriffe	9	7.2 Anzahl Proben	37
Zusammenfassung	11	7.3 Arbeits- und Gesundheitsschutz (Checkliste)	38
1 Einleitung	13	8 Methodensammlung	39
1.1 Rechtliche Grundlagen	13	8.1 Methode zur Abgrenzung	40
1.2 Zielsetzungen	14	8.2 Methoden zur Probenahme	41
1.3 Abgrenzungen	14	8.3 Methoden zur Probenvorbehandlung	56
1.4 Gliederung	15	Teil III Grundlagen der Probenahme	64
Teil I Probenahme in der Praxis	16	9 Homogenität und Heterogenität	65
2 Probenahmestrategie	17	9.1 Betrachtung im Massstab der Partikelgrösse	65
2.1 Zielsetzungen	18	9.2 Heterogenität im Nahbereich	66
2.2 Arbeitshypothese zu Stoffen und Stoffeigenschaften	19	9.3 Heterogenität im grossen Massstab	67
2.3 Probenahmeplan	19	9.4 Zeitliche Heterogenität	67
3 Probenahme	22	9.5 Zusammenfassung aus praktischer Sicht	68
3.1 Abgrenzung von Homogenbereichen	22	10 Verteilung der Stoffe im Matrixmaterial	69
3.2 Entnahme des Probenmaterials	22	10.1 Partikuläre Kontamination	70
3.3 Sonderfälle	27	10.2 Oberflächenkontamination des Matrixmaterials	70
4 Probenvorbehandlung	30	10.3 Stoffe in Phase	70
4.1 Herstellen von Sammel- oder Mischproben	30	10.4 Stoffsättigung	71
4.2 Homogenisierung von Probenmaterial	30	11 Minimale Probenmasse	72
4.3 Aufteilen einer Probe	30	11.1 Bestimmung der minimalen Probenmasse bei Material mit partikulärer Kontamination	72
5 Verpackung und Transport	31	11.2 Bestimmung der minimalen Probenmasse bei Oberflächenkontamination des Matrixmaterials	73
5.1 Probenbehältnisse	31	11.3 Probenmasse bei Stoffen in Phase	74
5.2 Beschriftung	32	12 Betrachtung der Unsicherheiten	75
5.3 Transport	33	12.1 Unsicherheiten bei der Probenahme und Analyse von Feststoffproben	75
5.4 Lagerungsbedingungen	33	12.2 Berücksichtigung der Unsicherheit bei der Darstellung von Messwerten: Anzahl signifikante Stellen	76
6 Dokumentation der Probenahme	34	12.3 Umgang mit Unsicherheiten beim Vergleich mit gesetzlichen Grenz- und Entscheidungswerten	77
6.1 Probenahmeprotokoll	34		
6.2 Laborauftrag	34		

Anhang 1: Grundlagen	78
Anhang 2: Abschätzung von Prozentanteilen	81
Anhang 3: Minimal erforderliche Probenmasse – theoretische Grundlagen	83
Anhang 4: Beispiel eines Probenahmeprotokolls	88
Anhang 5: Beispiel eines Laborauftrags	89

Abstracts

The enforcement aid explains the legal basis for the "Sampling of Solid Waste" module. Undefined legal terms are clarified with a view to a more uniform enforcement of the sampling of solid waste. The enforcement aid is aimed primarily at the enforcement authorities in the cantonal and municipal administrations.

Keywords:

*sampling of solid waste,
enforcement aid ADWO*

Die Vollzugshilfe erläutert die gesetzlichen Grundlagen für das Modul «Probenahme fester Abfälle». Unbestimmte Rechtsbegriffe werden im Hinblick auf einen einheitlichen Vollzug bei der Beprobung von festen Abfällen konkretisiert. Die Vollzugshilfe richtet sich in erster Linie an die Vollzugsbehörden in den kantonalen und kommunalen Verwaltungen.

Stichwörter:

*Probenahme fester Abfälle,
Vollzugshilfe VVEA,
Abfallverordnung*

L'aide à l'exécution explique les bases légales pour le module «Échantillonnage des déchets solides». Elle concrétise des notions juridiques indéterminées en vue de permettre une application uniforme dans le cadre de l'échantillonnage des déchets solides. L'aide à l'exécution est destinée en premier lieu aux autorités d'exécution dans les administrations cantonales et communales.

Mots-clés :

*échantillonnage des déchets
solides, aide à l'exécution
OLED, ordonnance sur les
déchets*

Il presente aiuto all'esecuzione illustra le basi legali per il modulo «Campionamento di rifiuti solidi». Nel testo viene data concretezza a concetti giuridici indeterminati, nell'intento di uniformarne l'esecuzione nell'ambito del campionamento dei rifiuti solidi. La presente pubblicazione è destinata alle autorità incaricate dell'esecuzione nelle amministrazioni cantonali e comunali.

Parole chiave:

*campionamento di rifiuti
solidi, aiuto all'esecuzione
OPSR, ordinanza sui rifiuti*

Vorwort

Die Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA, SR 814.600) ist ein wichtiger Meilenstein im Schweizer Abfallrecht. Dieser im Jahr 2015 totalrevidierte Erlass ist in den konkreten Inhalten ein innovativer und mutiger Schritt, der einerseits bewährte Prozesse beibehält und weiter optimiert, gleichzeitig aber auch neue, in die Zukunft reichende Regelungen aufführt und damit Weichen für eine zukunftsfähige Schweiz stellt.

Der strategische Ansatz der Abfallverordnung ist die Betrachtung der Abfälle als Rohstoffquelle und damit auch als Rohstoffe in einem qualitativ hochstehenden Kreislauf. Der Vollzug dieser neuen Verordnung wirft aber auch Fragen auf und stellt die Behörden vor verschiedene Herausforderungen. Die vorliegende Vollzugshilfe dient der Bewältigung und Harmonisierung dieser anspruchsvollen aber eminent wichtigen Vollzugsaufgaben.

Die Vollzugshilfe zur VVEA wurde in Zusammenarbeit mit den Kantonen, Branchenverbänden der Wirtschaft sowie anderen Bundesämtern erarbeitet und ist modular aufgebaut: In jedem Modul werden konkretisierende Rahmenbedingungen zu einem spezifischen Thema beschrieben (z.B. Bauabfälle, Deponien, Berichterstattung). Die Module sind teilweise zusätzlich in thematische Teile untergliedert. Die Publikationen der Vollzugshilfe sind in deutscher, französischer und italienischer Sprache elektronisch unter www.bafu.admin.ch/vollzug-vvea verfügbar.

Das Modul «Probenahme fester Abfälle» beschreibt die Probenahme von festen Abfällen und umfasst die Schritte von der Planung der Probenahme bis hin zur Einlieferung der gewonnenen Proben im Labor. Sie zeigt auf, welche Anforderungen an die Probenahme von festen Abfällen zu stellen sind, um die Zielsetzungen der VVEA im Bereich der quantitativen Beurteilung zu erfüllen. Das BAFU dankt allen, die zum Gelingen der Publikation beigetragen haben, insbesondere den Mitgliedern der Begleitgruppen zu den einzelnen Modulteilern, die sich für möglichst einfach anwendbare, praxistaugliche Lösungen zur Gewährleistung der umweltrechtlichen Anforderungen bei der Entsorgung von biogenen Abfällen eingesetzt haben.

Karine Siegwart
Vizedirektorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Abkürzungen und Symbole

α Konfidenzintervall, Vertrauensbereich	EN Europäische Norm
$d_{\max}$ maximaler Durchmesser der potenziell belasteten Partikel, 95 % Perzentil der Kornverteilungskurve	DNAPL Dense non aqueous phase liquid: schwer wasserlösliche Flüssigkeit mit Dichte > 1, z.B. Trichlorethen (TRI), Tetrachlorethen (PER)
d_5 «minimale» Korngrösse der potenziell belasteten Partikel, 5 % Perzentil der Kornverteilungskurve	IUPAC International Union of Pure and Applied Chemistry
g Korrekturfaktor für die Korngrössenverteilung	KW Kohlenwasserstoffe
p Anteil der Partikelfraktion mit der interessierenden Eigenschaft	LNAPL Light non aqueous phase liquid: schwer wasserlösliche Flüssigkeit mit Dichte < 1, z.B. Benzin, Dieselöl
CV Variationskoeffizient	PAK Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
$M_{\min}$ minimal erforderliche Probenmasse bei festgelegtem α und ε	PCB Polychlorierte Biphenyle
ε akzeptierter relativer Probenahmefehler, d. h. die relative Abweichung des Messwerts vom Erwartungswert aufgrund der Probenahme ([27])	PE Polyethylen
ω Massenanteil an Schadstoffpartikeln	PTFE Polytetrafluorethylen
ρ_s Dichte der Schadstoffpartikel	VOC Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds)
BTEX Aromatische Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole	
CKW chlorierte Kohlenwasserstoffe	

Begriffe

Abfall

Abfälle sind bewegliche Sachen, deren sich der Inhaber entledigt oder deren Entsorgung im öffentlichen Interesse geboten ist (Art. 7 Abs. 6 USG).

Analysenprobe, Untersuchungsprobe

Aus der Prüfprobe gewonnene Teilprobe für die chemische oder physikalische Untersuchung.

beurteilende Probe

In Fällen bei denen eine repräsentative Probenahme nicht möglich ist, kann ein Experte aufgrund von Fachwissen und Beurteilungsfähigkeiten eine Probe entnehmen, die Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Grundgesamtheit zulässt. Dazu entnimmt der Experte gezielt Teilmengen der Grundgesamtheit. Die Probenmasse ist in der Regel tiefer als die Probenmasse einer repräsentativen Probe und steht nicht in Einklang mit den statistischen Prinzipien einer repräsentativen Probenahme ([6]).

Einzelprobe

Teilmenge einer Partie oder Charge, die bei einem einzelnen Probenentnahmevorgang entnommen wird und örtlich und zeitlich eng auf eine Entnahmestelle begrenzt ist ([9], [17]). Die minimale Masse von Einzelproben kann in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung und der erwarteten Schadstoffverteilung sehr variabel sein.

Feldprobe

Material, das bei Probenahmen in Form von Einzel-, Misch- und Sammelprobe(n) aus einer Grundmenge (Partie, Charge) entsteht.

Grundmenge

Gesamtheit des zu beprobenden Materials.

homogen

Gleichförmige Verteilung einer Eigenschaft oder eines Bestandteils in einer Probenmenge (vgl. Kapitel 9, Seite 65).

Homogenbereich

Teil der Grundmenge bzw. des Standorts, welcher hinsichtlich eines interessierenden Parameters oder Merkmals als homogen betrachtet werden kann.

heterogen

Ungleichförmige Verteilung einer Eigenschaft oder eines Bestandteils in einer Probenmenge.

Inkrement

Ein Inkrement ist die Materialmenge (Masse oder Volumen), die bei einem einzelnen Probenahmenvorgang entnommen wird. Mehrere Inkremente können notwendig sein, um die Mindestprobenmasse zu entnehmen.

Laborprobe

Probe(n)- oder Teilprobe(n), die dem Labor zur Verfügung gestellt wird/werden. In der Regel handelt es sich um eine vorbehandelte Feldprobe. Wird die Laborprobe durch Unterteilen, Mischen, Zerkleinern oder eine Kombination dieser Tätigkeiten weiterbehandelt (reduziert), ergibt sich die Prüfprobe. Ist keine Vorbereitung erforderlich, so stellt die Laborprobe die Prüfprobe dar.

Massstab (= Betrachtungsmassstab der Heterogenität), Skala

Minimale Menge (Masse oder Volumen) an Material, in dem Schwankungen als unbedeutend beurteilt werden.

Beispiel: Asche aus einer KVA: Die Schadstoffgehalte schwanken von Tag zu Tag. Betrachtet man jedoch eine Wochencharge, werden die Schwankungen geglättet. Wenn die Chargenqualität aus Sicht der Entsorgung wichtig ist, dann ist der Massstab die Aschemenge aus einer Woche.

Messprobe

Zur Messung gewonnene Teilmenge der Analysenprobe, die zur Bestimmung von chemischen oder physikalischen Parametern verwendet wird.

Mischprobe

Probe, die durch Vereinigen und Vermischen von Einzelproben einer Grundmenge entsteht, um ein Durchschnitts-

sergebnis für eine bestimmte Kenngrösse zu erhalten ([9]). Jede Einzelprobe erfüllt die Anforderungen an die minimale Probenmasse.

organoleptisch

Beurteilung von Probenmaterial über die Sinnesorgane. Sie umfasst die Ansprache des Materials nach Aussehen (Farbe, Konsistenz, makroskopische Inhaltsstoffe) und Geruch (vgl. Kapitel 3.1.1, Seite 22; sowie Verfahren O, Seite 40).

Partie, Charge

Menge eines Stoffes oder Materials, die sich nach ihrer Beschaffenheit, Eigenschaft und räumlichen Zuordnung als eine Einheit darstellt.

Probenahme

Vorgang der Entnahme oder Zusammenstellung einer Probe.

Probenaufarbeitung

Arbeitsschritte *im Labor* zur Erstellung von parameter-spezifischem Mess-/Analysenprobenmaterial aus der Prüfprobe. z. B. durch Eluieren, Extrahieren, Zentrifugieren, Destillieren.

Probenvorbehandlung

Die Probenvorbehandlung folgt auf die Probenahme. Sie umfasst Verfahrensschritte vor Ort, die zur Herstellung einer Laborprobe aus der Feldprobe notwendig sind. Dazu gehören z. B. Mischen, Homogenisieren, Teilen, Verjüngen (vgl. Kapitel 4, Seite 30).

Probenvorbereitung

Verfahrensschritte *im Labor*, die zur Herstellung einer Analysen-/Messprobe aus der Laborprobe notwendig sind. Dazu gehören z. B. Trocknen, Sieben, Homogenisieren, Teilen (vgl. [23]).

Prüfprobe

Aus der Laborprobe hergestellte Probe, von der für die Prüfung oder Messung Prüfmengen entnommen werden.

repräsentative Probe

Eine Probe gilt als repräsentativ, wenn ihre charakteristischen Merkmale weitestgehend der Durchschnittseigen-

schaft der Grundmenge entspricht. Dazu sind die anhand statistischer Prinzipien ermittelten Mindestanforderungen wie beispielsweise die Probenmasse einzuhalten.

Rückstellprobe

Teilprobe, Material:

- zur Nachuntersuchung oder Beweissicherung oder
- um bei Industrieprozessen einen zeitlichen Verlauf zu dokumentieren.

Eine Rückstellprobe soll die gleichen Eigenschaften wie das Ausgangsmaterial aufweisen. Diese Eigenschaften sollten sich bei der Lagerung nicht verändern.

Sammelprobe

Probe, die durch Vereinigen und Vermischen von Teilproben oder Mischproben entsteht (nach [9], [17]).

Skala

Siehe Massstab.

Teilprobe

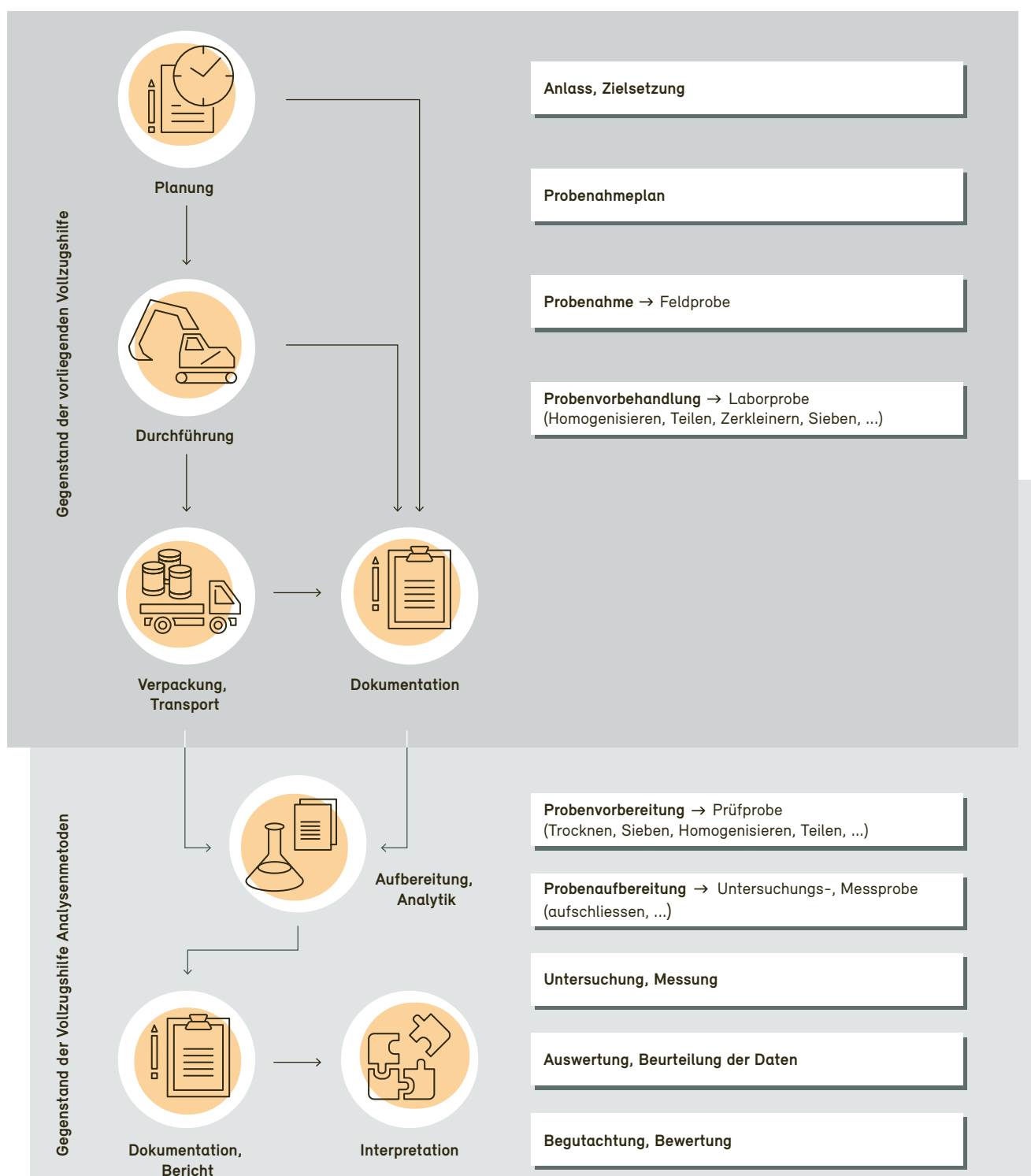
Repräsentative Teilmenge, die der Probe entnommen worden ist ([9]).

Zusammenfassung

Die Untersuchung von Feststoffproben läuft in folgenden Schritten ab:

Abbildung 1

Schritte bei der Untersuchung von Feststoffproben (nach [9])



In den einzelnen Schritten gemäss Abbildung 1, Seite 11 werden folgende Überlegungen und Arbeiten ausgeführt:



Planung der Probenahme

Die Planung steht am Anfang des Probenahmeprozesses und ist ein zentrales Element der Qualitätssicherung. In der Planung werden die Zielsetzungen, das erwartete

Schadstoffspektrum und das Vorgehen bei der Probenahme im Feld festgelegt. Vgl. Kapitel 2, Seite 17.



Durchführung der Probenahme

Bei der Probenahme wird eine ausreichend grosse Menge Material aus der Grundmenge entnommen. Dabei kann ein breites Spektrum an Probenahmetechniken eingesetzt werden. Da

aus praktischen Gründen nicht beliebig grosse Proben vom Labor verarbeitet werden können, gibt es Methoden zur Reduktion der Probenmenge. Vgl. Kapitel 3, Seite 22.



Verpackung und Transport der Proben

Die entnommenen Proben werden in geeignete Transportbehälter verpackt und möglichst umgehend an das Analyselabor gesendet. Vor

allem bei leichtflüchtigen organischen Schadstoffen können falsche Verpackungen Untersuchungsergebnisse zur Folge haben, die vom wahren Schadstoffgehalt in einem unüblichen Ausmass abweichen. Vgl. Kapitel 5.1, Seite 31.



Dokumentation der Probenahme

Die Dokumentation erfolgt fortlaufend und parallel zu den Schritten Planung, Probenahme, Probenvorbehandlung und Verpackung. Die Dokumentation ist wichtig:

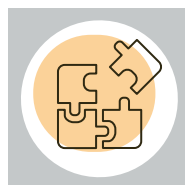
- für die Information des Analytiklabors über die Entstehung der Probe und
- als Grundlage für die Beurteilung der Plausibilität der Messresultate.

Vgl. Kapitel 6, Seite 34.



Aufbereitung und Messung

Die Aufbereitung der Laborproben, die Messmethodik und die Berichterstattung sind nicht Gegenstand der vorliegenden Vollzugshilfe. Diese Schritte werden in der Vollzugshilfe [23] *Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich* beschrieben.



Interpretation der Resultate

Bei der Interpretation der gewonnenen Messresultate sind die folgenden drei Grundsätze zu beachten und kritisch zu hinterfragen:

- Repräsentativität: Welchen Bereich der Grundgesamtheit (Partie, Charge) repräsentieren die Messungen? Dabei sind auch die Bestimmungsunsicherheiten der Messung zu berücksichtigen.
- Kohärenz: Geben die Messdaten, gegeneinander abgewogen, ein schlüssiges Bild der Gesamtsituation?
- Plausibilität: Gibt es nachvollziehbare Erklärungen für die Messwerte? Stimmt der Befund mit früher oder mit zeitgleich entnommenen und gemessenen Proben überein bzw. lassen sich abweichende Messwerte erklären?

Vgl. Kapitel 2.2, Seite 19 und Abbildung 3, Seite 19.

1 Einleitung

Bei der umweltverträglichen Entsorgung von Abfällen ist meist eine Bestimmung des Schadstoffgehaltes notwendig. Die Messergebnisse von Abfallproben können ökologisch und finanziell weitreichende Konsequenzen haben. Es ist deshalb ein dringendes Bedürfnis sowohl der Vollzugsbehörden wie auch der Wirtschaft die Anforderungen an die Messkette ausgehend von der Probenahme bis hin zum Bericht der Messresultate zu harmonisieren.

Dieses Dokument beschreibt die Probenahme von festen Abfällen und umfasst die Schritte von der Planung der Probenahme bis hin zur Einlieferung der gewonnenen Proben im Labor.

Die Schritte Probenaufbereitung im Labor, die Analysemethoden bis zu den Anforderungen an die Berichterstattung werden in der Vollzugshilfe [23] *Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich* dokumentiert.

1.1 Rechtliche Grundlagen

Artikel 30 des Bundesgesetzes vom 7. Oktober 1983 über den Schutz der Umwelt (Umweltschutzgesetz, USG, SR 814.01) enthält die Grundsätze, dass Abfälle soweit möglich verwertet und im Allgemeinen umweltverträglich entsorgt werden müssen.

Mit der Inkraftsetzung der Verordnung vom 4. Dezember 2015 über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA, SR 814.600) am 1. Januar 2016 wurde der Abfallvermeidung, der Schliessung von Stoffkreisläufen und der Ausschleusung von Schadstoffen ein hoher Stellenwert gegeben. Für bedeutende Abfallaufkommen wurden in der VVEA die möglichen Verwertungswege entsprechend dem Schadstoffgehalt definiert. Zum Vollzug der Bestimmungen der VVEA und der Vollzugshilfen sind somit Feststoffproben zu analysieren.

In die VVEA wurde beispielsweise eine Verwertungspflicht für unverschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial aufgenommen (Art. 19 VVEA). Das bereits mit der Technischen Verordnung über Abfälle (TVA) eingeführte Vermischungsverbot wurde beibehalten (Art. 9 VVEA).

Um den Zielsetzungen der VVEA gerecht zu werden sind unterschiedlich belastete Abfälle auszuscheiden und unterschiedlichen Entsorgungswegen zuzuführen. Für Aushub- und Ausbruchmaterial legt Artikel 19 VVEA fest, welche Verwertungswege aufgrund der Schadstoffgehalte zugelassen sind. Die für die einzelnen Entsorgungswegen zulässigen Gesamtgehalte an Schadstoffen im Aushub- und Ausbruchmaterial sind in Anhang 3 VVEA dokumentiert.

Abfälle können u. a. auch bei der Beton- und Zementherstellung verwertet werden. Die Anforderungen bei der Verwertung als Rohmaterial und Rohmaterialkorrekturstoffe sind in Anhang 4 Ziffer 1 VVEA definiert. Werden die Abfälle als Brennstoffe verwertet, gelten die Grenzwerte gemäss Anhang 4 Ziffer 2 VVEA. Bei Verwertung als Zuschlag- und Zuschlagstoff sind die Grenzwerte nach Anhang 4 Ziffer 3 VVEA einzuhalten.

Trotz steigender Verwertungsquoten werden auch in Zukunft mehrere Millionen Tonnen Abfälle jährlich abgelagert. Artikel 25 Absatz 1 VVEA sieht vor, dass auf Deponien nur Abfälle abgelagert werden dürfen, welche die Anforderungen nach Anhang 5 VVEA erfüllen. Inhaberinnen und Inhaber von Abfallanlagen müssen die Abfälle bei der Entgegennahme kontrollieren und sicherstellen, dass nur zugelassene Abfälle in den Anlagen entsorgt werden (Art. 27 Bst. b VVEA). Für die Deponietypen B, C, D und E legt Anhang 5 VVEA Grenzwerte für den Gesamtgehalt an Schadstoffen in Feststoffproben, aber auch Grenzwerte für die Freisetzung von Schadstoffen in Eluattests fest.

Art. 32c USG verpflichtet die Kantone, dafür zu sorgen, dass Deponien und andere durch Abfälle belastete Standorte saniert werden, wenn sie zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen führen oder die konkrete Gefahr der Entstehung solcher Einwirkungen besteht. Zu diesem Zweck beurteilt die Behörde gemäss der Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV, SR 814.680) aufgrund einer historischen und einer technischen Voruntersuchung, ob ein belasteter Standort überwachungs- oder sanierungsbedürftig ist (Art. 7ff. AltIV). Mit der

technischen Untersuchung werden Art und Menge der Stoffe am Standort ermittelt (Art. 7 Abs. 4 AltIV). Dafür müssen häufig auch Feststoffproben analysiert werden.

1.2 Zielsetzungen

Diese Vollzugshilfe beschreibt methodische Vorgehensweisen bei der Probenahme und der Probenvorbehandlung und stellt einen wesentlichen Baustein zur Gütesicherung von Messresultaten bei festen Abfällen dar. Denn insbesondere bei Abfällen mit heterogener Schadstoffverteilung gilt:

Die Probenahme ist der massgebende Schritt für die Gewinnung von aussagekräftigen Messresultaten. Die Qualität einer Abfalldeklaration hängt primär von der Probenahme ab und in den meisten Fällen erst in zweiter Linie von der nachfolgenden Analytik.

Bei den hier beschriebenen Vorgehensweisen wird ein praktikables, einheitliches Vorgehen für die Entnahme von Teilmengen (d.h. Proben) festgelegt, welche zur Ermittlung charakteristischer Merkmale von Abfällen geeignet sind.

Die Entnahme von Teilmengen, welche die charakteristischen Merkmale eines Abfalls mit ausreichender Genauigkeit repräsentieren, ist keineswegs eine triviale Aufgabenstellung. Daher enthält diese Vollzugshilfe detaillierte Erläuterungen und Vorgaben zu folgenden Aspekten:

- Planung der Probenahme (Kapitel 2, Seite 17ff),
- Probenahmeverfahren in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Abfalls (Kapitel 8, Seite 39ff),
- Minimale Masse von Einzelproben in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung und der erwarteten Schadstoffverteilung (Kapitel 11, Seite 72ff; Kapitel 7.1, Seite 36ff),
- Mindestanzahl von Einzel- und Sammelproben in Abhängigkeit von der Abfallmenge (Kapitel 7.2, Seite 37ff),
- Probenvorbehandlung im Feld, Verfahren zu Reduktion der Probenmasse im Feld (Kapitel 4, Seite 30).

Es ist zu beachten, dass es sich bei diesen Vorgaben um grundlegende minimale Anforderungen handelt, die je nach Zielsetzung (z. B. Forschungsvorhaben mit erhöhten Anforderungen an Zuverlässigkeit/Vertrauenswürdigkeit), der Heterogenität der Abfallsammensetzung sowie der stofflichen Inhomogenität des Materials sehr viel höher liegen können.

Die Zielgruppe der vorliegenden Vollzugshilfe sind Vollzugsbehörden in den kantonalen und kommunalen Verwaltungen. Mittelbar richtet sich die Vollzugshilfe auch an Messlabors und Gutachterbüros, welche mit der umweltverträglichen Entsorgung von Abfällen beauftragt sind.

1.3 Abgrenzungen

Die vorliegende Vollzugshilfe befasst sich ausschliesslich mit der Probenahme fester Abfälle im Rahmen der Planung und Ausführung von Entsorgungsmassnahmen (vgl. Abbildung 1, Seite 11).

Die Herstellung bzw. Vorbereitung von Analysenproben und die Durchführung von chemischen Analysen sind in der Vollzugshilfe Messmethoden [23] geregelt.

Für die Probenahme bei Gleisaushub ([25]) und Altholz ([22]) sowie bei der Entsorgung von Schlämmen aus der Bauwirtschaft ([24]) gibt es spezielle Vollzugshilfen, sie wird daher in dieser Vollzugshilfe nicht berücksichtigt. Die Probenahme und die Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden sind hier geregelt ([28]).

Probenahmestrategien zur Beurteilung von belasteten Standorten werden in der vorliegenden Vollzugshilfe nicht behandelt. Hingegen können die Grundsätze der Vorbereitung und Durchführung von Feststoffprobenahmen sinngemäss auch für diesen Fachbereich angewendet werden.

Die Zuständigkeit für radioaktive Abfälle liegt beim Bundesamt für Gesundheit und deren Beprobung wurde daher in dieser Vollzugshilfe nicht berücksichtigt.

1.4 Gliederung

Die vorliegende Vollzugshilfe ist wie folgt in drei Teile gegliedert:

- **Teil I – Probenahme in der Praxis** (Seite 16ff)

Teil I widmet sich der Probenahme aus praktischer Sicht. Er beschreibt die Prozesskette ausgehend von der Probenahmestrategie, über die Probenahme, die Probenvorbehandlung (Mischen, Teilen) bis hin zu Verpackung und Transport. Die Anforderungen an die Dokumentation schliessen diesen Teil ab.

- **Teil II – Vorgehen und Methoden** (Seite 35ff)

Teil II der Vollzugshilfe wurde der Charakter eines Nachschlagewerkes gegeben. In bewusst kurz gefasster Weise werden Angaben zur Planung (Mindestmasse und Anzahl von Proben, Arbeits- und Gesundheitsschutz) und zu einem breiten Spektrum der Probenahmemethoden dem Praktiker zur Verfügung gestellt.

- **Teil III – Theoretische Grundlagen der Probenahme** (Seite 64ff)

Teil III fasst die wissenschaftlichen Grundlagen der Probenahme zusammen. Insbesondere werden die Homogenität bzw. Heterogenität von charakteristischen Merkmalen dargestellt, die einen wesentlichen Anteil an der Streuung von Messergebnissen haben. Die Verteilung von (Schad-) Stoffen, die minimale Probenmasse und die Unsicherheiten über alle Arbeitsschritte bilden weitere Themen des dritten Teils.

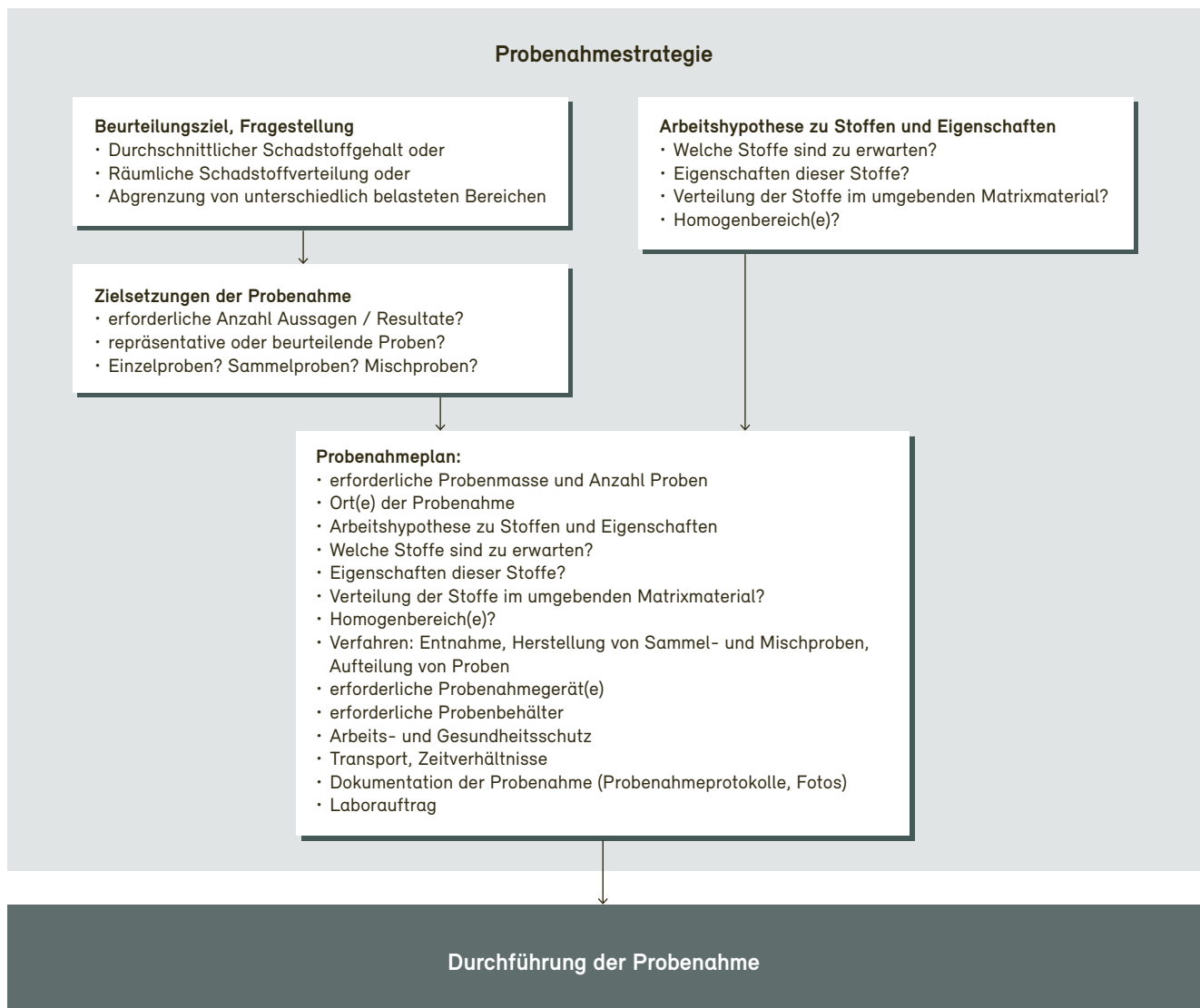
Teil I Probenahme in der Praxis

Dieser erste Teil widmet sich der Probenahme aus praktischer Sicht. Er beschreibt die Prozesskette – wie in Abbildung 1, Seite 11 dargestellt – ausgehend von der Probenahmestrategie, über die Probenahme, die Probenvorbehandlung (Mischen, Teilen) bis hin zu Verpackung und Transport. Die Anforderungen an die Dokumentation schliessen diesen Teil ab.

2 Probenahmestrategie

Abbildung 2

Elemente der Probenahmestrategie



Das **Beurteilungsziel** für das zu beprobende Material wird auf der Grundlage der zu beantwortenden Fragestellung definiert. Dies ist in der Regel die Prüfung der Einhaltung gesetzlicher Anforderungen. Aus den mit den Schadstoffmessungen zu beantwortenden Fragen ergeben sich die **Ziele der Probenahme**.

In einem nächsten Schritt wird in einer **Arbeitshypothese** beurteilt,

- welche Stoffe in den Proben zu erwarten sind und
- wie die Stoffe im umgebenden Matrixmaterial verteilt sein können.

Basierend auf den Zielsetzungen der Probenahme und der Arbeitshypothese zu den Stoffen und Eigenschaften des zu beprobenden Materials wird der **Probenahmeplan** definiert. Hier werden die Vorgehensweisen für die Probenahme als konkrete Handlungsanweisungen festgelegt.

2.1 Zielsetzungen

Generelles Ziel der Probenahme ist es, Proben zu entnehmen, welche die reale Schadstoffverteilung im Hinblick auf die Fragestellung und Zielsetzung der Untersuchung repräsentativ abbilden. Dabei spielt die räumliche Verteilung und damit die Heterogenität der Messparameter eine zentrale Rolle (vgl. Kapitel 9, Seite 65ff und Kapitel 10, Seite 69ff).

Zu Beginn müssen Fragestellung und Zielsetzung klar festgelegt werden. Die Fragestellung und Zielsetzung bilden die Grundvoraussetzung für eine zielgerichtete, effiziente und fachlich korrekte Planung und Durchführung der Probenahme.

Typische Fragestellungen, welche mit Probenahmen und Messungen der entnommenen Proben zu beantworten sind, können sein:

- durchschnittlicher Schadstoffgehalt einer Grundgesamtheit,
- räumliche Schadstoffverteilung,
- Abgrenzung von belasteten und unbelasteten Bereichen,
- Materialeigenschaften (Stoffwahl).

Je nach Fragestellung ist zwischen **repräsentativen Proben** und **beurteilenden Proben** zu unterscheiden:

Mit einer **repräsentativen Probenahme** werden bisher nicht oder nur schlecht bekannte Eigenschaften einer Grundgesamtheit (Partie, Charge) untersucht. Dazu gehört beispielsweise die mittlere Schadstoffkonzentration in einem abfallhaltigen Haufwerk. Häufig sind bei solchen Proben weder das massgebende Inventar an Stoffen noch deren räumliche Verteilung in der Grundgesamtheit ausreichend bekannt. Bei der Planung der Probenahme müssen in der Regel Annahmen getroffen werden, beispielsweise zur Heterogenität, zur Korngrößenverteilung und (daraus resultierend) zur Probenmasse.

Beurteilende Proben werden oft entnommen, wenn eine repräsentative Probenahme nicht möglich ist,

- weil nicht ausreichend Probenmaterial zur Verfügung steht (z. B. aus Bohrkernen von Kleinbohrungen) oder
- weil die erforderliche Probenmasse nicht mit verhältnismässigem Aufwand aufbereitet werden kann (z. B. bei sehr grobkörnigem oder stückigem Material).

Mit beurteilenden Proben werden des Weiteren auch laufende Prozesse oder Abläufe auf die Einhaltung vorgängig definierter, d. h. bereits bekannter Bedingungen überprüft. So werden beispielsweise zur Überwachung der Anlieferungen auf Deponien oder zur Überwachung der Schadstoffgehalte von Schlacke aus Kehrrichtverbrennungsanlagen in regelmässigen Intervallen beurteilende Proben entnommen und auf bekannte, in der VVEA oder in Betriebsbewilligungen definierte Parameter und Grenzwerte überprüft. Das massgebende Inventar an Stoffen und deren Verteilung in der Grundgesamtheit sind bei beurteilenden Proben in der Regel ausreichend bekannt. Das Vorgehen bei der Probenahme basiert auf diesen Kenntnissen.

Bei einer beurteilenden Probenahme wird ein geringerer Aufwand als bei einer repräsentativen Probenahme betrieben. Beurteilende Proben führen daher zu grösseren Unsicherheiten als repräsentative Proben. Sie können daher nur dann als Grundlage für die Einhaltung von Grenzwerten eingesetzt werden, wenn diese erheblich unterschritten werden.

Ob repräsentative oder beurteilende Proben entnommen werden sollen, hängt vom Beurteilungsziel und von den technischen Möglichkeiten ab. Wenn immer möglich, sollen repräsentative Proben entnommen werden.

Der Planung der Probenahme wird daher in der Regel eine Hypothese zu Grunde gelegt.

Die Annahmen bzw. die Arbeitshypothese ist nach erfolgter Probenahme und insbesondere bei der Interpretation der Messdaten kritisch zu hinterfragen.

Sollte sich herausstellen, dass einzelne Annahmen, welche bei der Planung der Probenahme getroffen worden sind, nicht zutreffen, soll geprüft werden, ob die Probenahme noch ausreichend aussagekräftig ist oder ob ggf. eine Wiederholung der Probenahme mit verbesserten Annahmen sinnvoll ist, siehe Abbildung 3, Seite 19.

2.2 Arbeitshypothese zu Stoffen und Stoffeigenschaften

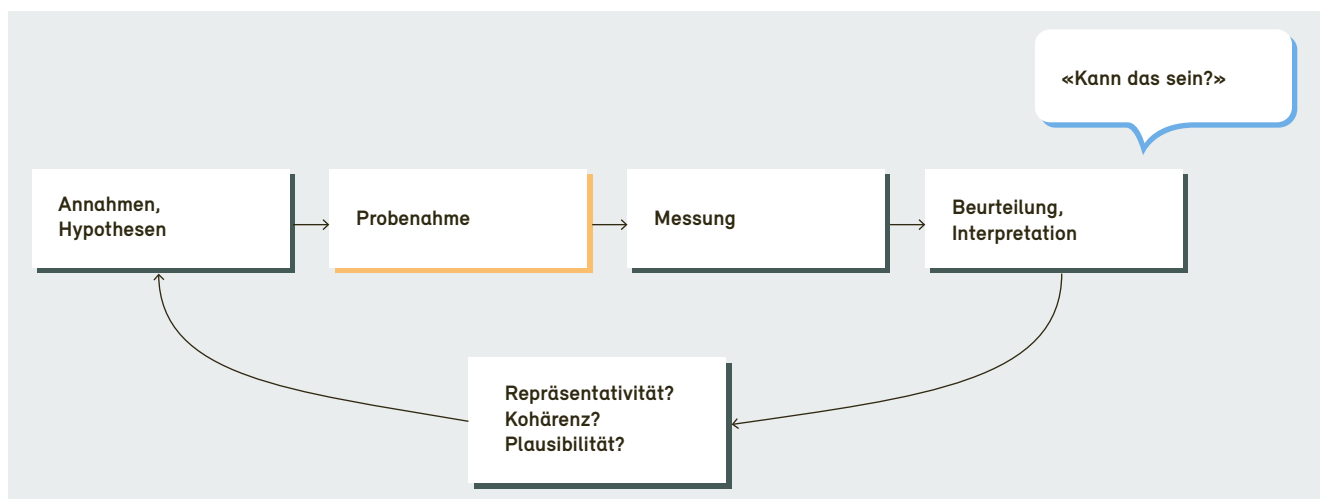
Insbesondere wenn die Aufgabe darin besteht, Material bzw. eine Charge oder Partie mit unbekannten oder schlecht bekannten Eigenschaften zu beproben und zu messen, müssen bei der Planung der Probenahme Annahmen getroffen werden, beispielsweise zur Korngrössenverteilung, zum Stoffspektrum oder zu den erwarteten Stoffkonzentrationen. Diese Annahmen können sich als mehr oder weniger zutreffend herausstellen.

2.3 Probenahmeplan

Ausgehend von den Zielsetzungen der Probenahme und der Arbeitshypothese zu den Stoffen und Eigenschaften des zu beprobenden Materials wird der Ablauf der Probenahme im Voraus definiert und im Probenahmeplan zusammengestellt. Der Probenahmeplan stellt die Handlungsanweisung für die mit der Probenahme beauftragte Person dar.

Abbildung 3

Überprüfung der Probenahme zugrunde gelegten Arbeitshypothese zu den Stoffen und Stoffeigenschaften



Der Probenahmeplan ist das Kernstück der Qualitätssicherung. Er soll deshalb schriftlich festgehalten werden.

2.3.1 Minimale Probenmasse

Eine grobe Abschätzung der minimal notwendigen Probenmasse erfolgt für Material mit einer partikulären Kontamination nach Abbildung 34, Seite 73 bzw. bei Material mit einer Oberflächenkontamination nach Abbildung 35, Seite 74. Dabei sind die folgenden Vorgaben zu beachten:

- Eine weitere Reduktion oder Aufteilung der gemäss Abbildung 34, Seite 73 oder Abbildung 35, Seite 74 entnommenen minimalen Probenmasse gemäss Ziff. 7 SN 670 800c ([19]) ist *nicht zulässig*. Die *gesamte* minimale Probenmasse ist als Laborprobe aufzubereiten (Zerkleinern und Homogenisieren).
- Die minimale Probenmasse beruht auf statistischen Überlegungen zur Stoffverteilung in der Grundgesamtheit. Sie wird nicht von der vorgesehenen Messmethode bestimmt.
- Abweichungen von den in Kapitel 11.1, Seite 72 und Kapitel 11.2, Seite 73 definierten Standardvorgaben sind mit dem Analytiklabor abzusprechen und im Laborauftrag zu definieren.

Das Analytiklabor weist die angelieferte Probenmasse im Laborbericht aus.

2.3.2 Anzahl Proben

Der Gutachter bzw. die Gutachterin definiert im Rahmen der Arbeitshypothese zu Stoffen und Stoffeigenschaften aufgrund der vorhandenen Standortkenntnisse einen oder mehrere Homogenbereiche mit weitgehend konstanten lithologischen und chemischen Eigenschaften.

Die Anzahl Proben wird in Kapitel 7.2, Seite 37ff definiert. Aus einem Homogenbereich sind im Minimum zwei Proben zu entnehmen und zu messen. Nur bei kleinen Abfallmengen ist eine Einzelprobe zulässig.

Falls die Plausibilität der Messergebnisse hinsichtlich Arbeitshypothese und hinsichtlich Homogenität des Untergrundmaterials in Bezug auf den Messparameter zweifelhaft ist,

- sollen im Rahmen einer Nachbeprobung zusätzliche Proben aus dem Homogenbereich entnommen und gemessen werden bis die Plausibilität bestätigt werden kann oder
- soll gegebenenfalls der Homogenbereich im Rahmen einer Überprüfung der ursprünglichen Arbeitshypothese neu definiert werden.

2.3.3 Rückstellproben

Es wird empfohlen, bei jeder Probenahme Rückstellproben zu entnehmen und bis zum Abschluss der Beurteilung des Standorts aufzubewahren. Falls die Wiederholung einer Analyse nötig ist oder falls ergänzende Messungen vorgenommen werden sollen, kann auf die Rückstellproben zurückgegriffen werden, ohne dass nochmals eine Probenahme durchgeführt werden muss. Die Rückstellproben sollen nicht nur den Messvorgang, sondern auch die Aufbereitung und Probenahme reproduzieren können. Zu beachten: Die bei der Probenahme gebildeten Rückstellproben sind nicht identisch mit den Rückstellproben, welche das Analytiklabor gemäss [23] erstellt!

Rückstellproben sind in der minimal erforderlichen Probenmasse gemäss Kapitel 11.1, Seite 72 (Abbildung 34, Seite 73) *nicht* enthalten.

Es empfiehlt sich, mindestens die gleiche Probenmasse als Rückstellprobe zu entnehmen und aufzubewahren, wie diejenige, welche dem Labor zur Analyse übergeben wird.

Die Rückstellprobe besteht aus Originalmaterial. Rückstellproben aus Aufbereitungsschritten erfüllen diese Anforderung nicht.

Rückstellproben werden unabhängig von der Originalprobe entnommen und in getrennte Gebinde abgefüllt.

Rückstellproben sollen unter geeigneten Bedingungen aufbewahrt werden, bis der behördliche Entscheid zu den Analysenresultaten vorliegt.

Sie verbleiben verpackt und trocken gelagert am Probenahmeort oder beim Probenehmer/Gutachter bzw.

Probenehmerin/Gutachterin. Rückstellproben mit leichtflüchtigen Stoffen sind zudem gekühlt zu lagern.

2.3.4 Arbeits- und Gesundheitsschutz

Bei der Planung der Probenahme sind angemessene Arbeitsschutzmassnahmen vorzusehen. Zum Mindeststandard bei allen Arbeiten auf belasteten Standorten und damit auch bei Probenahmen im Rahmen von Standortuntersuchungen gehören

- Einweghandschuhe (siehe EN 388 Handschuhe),
- Staubmaske,
- Schutzbrille (siehe EN 166).

Je nach erwarteten Stoffen können weitere Arbeitsschutzmassnahmen erforderlich sein:

- chemisch beständige Schutzkleidung,
- Belüftung von Baugruben oder Schächten,
- Atemschutz,
- ex-geschütztes Funkgerät mit Totmannfunktion.

Bei Probenahmearbeiten auf Baustellen ist die persönliche Schutzausrüstung für Bauarbeiten obligatorisch;

- Sicherheitsschuhe (siehe EN 345),
- Helm,
- Warnweste,
- Gehörschutz.

In gefährlicheren Situationen kann weitere Ausrüstung erforderlich sein: Gesichtsschild, Schutzkleidung, bei Asbestverdacht: Atemschutzmaske entsprechend den SUVA-Vorschriften, vgl. [36]. Weitere Informationen zu persönlichen Schutzausrüstungen (PSA): [38], www.suva.ch/waswo.

3 Probenahme

3.1 Abgrenzung von Homogenbereichen

3.1.1 Organoleptische Beurteilung

Bei der organoleptischen Beurteilung (vgl. Verfahren O, Seite 40) werden die visuellen Sinneseindrücke genutzt um charakteristische Unterschiede zwischen Materialchargen anhand folgender Merkmale zu erfassen [17]:

- Farbe,
- Korn- bzw. Stückgrößenverteilung,
- Fremdanteil,
- Konsistenz,
- Geruch,
- Gasentwicklung,
- ggf. Fingerprobe (Persönliche Schutzmassnahmen beachten).

Die organoleptische Beurteilung wird vor allem eingesetzt, um zu prüfen, ob eine Abfallcharge als homogen betrachtet werden kann oder ob die Charge in mehrere Teilchargen mit unterschiedlicher Charakteristik separiert werden muss.

3.1.2 Visuelle Beurteilung des Fremdanteils

Das Merkblatt [33] enthält praktische Vergleichsbilder, welche die visuelle Beurteilung des Fremdanteils in Haufwerken unterstützen (vgl. Anhang 2, Seite 81).

Die visuelle Beurteilung des Fremdstoffanteils in bindigem Material ist nicht immer einfach. In lehmigem, nassem Material kann der Fremdstoffanteil deutlich unterschätzt oder gar nicht erkannt werden, da Fremdpartikel mit einer dünnen Lehmschicht überzogen sein können. Dies trifft – in vermindertem Ausmass – auch auf kiesiges Material mit siltig-tonigen Anteilen zu ([33]).

Neben der direkten organoleptischen Beurteilung kann der Fremdstoffanteil auch nach zwei Vorbehandlungsmethoden erfolgen:

- Nasssiebung, Aufteilung in Fraktionen >8 mm und >16 mm, Auszählung,
- Trocknung, Aufteilung in Fraktionen >8 mm und >16 mm, Auszählung.

Die Trockensiebung ist deutlich einfacher anwendbar als die Nasssiebung, liefert aber unpräzisere Resultate. Da die Nasssiebung schwierig anwendbar und aufwändig ist, ist sie von geringer praktischer Bedeutung ([33]).

3.2 Entnahme des Probenmaterials

3.2.1 Probenahmegeräte

Die für die Probenahme verwendeten Geräte müssen aus Materialien bestehen, welche die Probe hinsichtlich der zu untersuchenden Eigenschaften und Inhaltsstoffe nicht beeinflussen.

Vorzugsweise sind Geräte aus Edelstahl oder hochwertigem Kunststoff einzusetzen. Probenahmegeräte sind an die Grösse der Grundgesamtheit, an den Aggregatzustand sowie an die maximale Teilchengrösse und Beschaffenheit des Probenmaterials anzupassen.

Die Öffnung soll mindestens 10 mm betragen oder dem Dreifachen des Grösstkorndurchmessers entsprechen.

Probenahmegeräte für Untergrundmaterial und Haufwerke

Tabelle 1

Eignung von verschiedenen Probenahmegeräten für Untergrundmaterial

Probenahmegerät	Boden (Ober- und Unterboden)	Feinkörniges Untergrundmaterial	Grobkörniges Untergrundmaterial	Verfahren (vgl. Kapitel 8, Seite 39)
Probenstecher, Bohrstock, Handschaufel (Volumengleichheit beachten)	+	–	–	U1, Seite 41
Schneckenbohrer	+	–	–	U2, Seite 42
Bagger	(+)	(+)	(+)	U3, Seite 43
kleinkalibrige Bohrgeräte: Rammkernbohrungen		+	(+)	U4, Seite 44
grosskalibrige Bohrgeräte: Kernbohrungen 3", 4½"		+	+	U5, Seite 45 U6, Seite 46

Vorbehalt bezüglich Baggersondierungen: Eine direkte Probenahme aus der Wand oder dem Boden von Sondierschächten mit einer Tiefe > 1 m ist in den meisten Fällen aus Gründen der Arbeitssicherheit nicht möglich.

Probenahmegeräte für gelagerte Materialien

Tabelle 2

Eignung von verschiedenen Probenahmegeräten für gelagerte Materialien

Probenahmegerät	Kohäsive Schüttgüter, bindige Haufwerke	Kohäsionslose Schüttgüter und Haufwerke			Verfahren (vgl. Kapitel 8, Seite 39)
		feinkörnig, pulverförmig	grobkörnig	Bruchgut, Grobteile	
Beispiele	lehmiges Aushubmaterial	Aschen, Filterstäube	Schlacken	Bauschutt, Feuerfestausbruch, verfestigte Abfälle*	
Bagger, Radlader	+	–	+	(+)	L1, H1
Probenschaufel	+	+	+	(+)	L2, H1
Handschaufel	+	+	+	–	L2
Spatel	+	+	–	–	L4
Probenahmespeer, Zonensammler, Stechheber	–	+	–	–	L4
Probenahmerohr, Probenstecher, Bohrstock	+	+	–	–	L4
Schraubenbohrer, Schneckenbohrer, Löffelbohrer, Erdbohrer	+	–	+	–	L3, L4
Kernprobennehmer	–	–	–	(+)	L4
Meisselhammer	–	–	–	(+)	L4

* nicht repräsentativ beprobbar

- Bruchgut und Grobteile können mit repräsentativen Probenahmemethoden nicht beprobt werden. Es können Oberflächenproben mit Meisseln und Kernbohrproben entnommen werden.
- Probenschaufeln und Handschaufeln sollen einen hohen Rand aufweisen. Die Weite der Schaufeln bzw. Spatel soll mindestens den dreifachen Durchmesser des Grösstkorns betragen (vgl. EN 932-1 ([14]): Abschnitt 7).
- Wichtig ist sowohl bei Schrauben- bzw. Erdbohrern wie auch bei Probenstechern, Bohrstöcken oder Probenahmespeeren eine ausreichende Weite der Eintrittsöffnung. Diese solle mindestens 10 mm betragen oder dem Dreifachen des Grösstkorndurchmessers entsprechen.
- Spitzschaufeln eignen sich nur bedingt. Die Breite von Schaufeln soll grösser sein als der vierfache Korndurchmesser,
- Schrauben- bzw. Erdbohrer sind geeignet um eine breite Palette von kohäsiven Materialien zu beproben (Kompost, Sand, Böden). Bei Kompost soll der Mindestdurchmesser der Schrauben 100 mm betragen ([26]). Dieser Typ Probenahmegerät ist jedoch nicht für kohäsionslose Materialien geeignet.

Abb. 4a
Bagger, Radlader



Abb. 4b
Probenschaufel mit
hochgezogenen Seiten



Abb. 4c
Handschaufel



Abb. 4d
Spatel



Abb. 4e
Probenahmerohr, Probenstecher,
Bohrstock



Abb. 4f
Probenahmespeer



Abb. 4g
Schraubenbohrer, Schnecken-
bohrer



Abb. 4h
Löffelbohrer, Erdbohrer

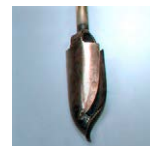


Abb. 4i
Kernprobennehmer
(Zonensammler)



Abb. 4j
Meisselbohrer



Abb. 4k
Bohrgerät



- Probenstecher, Bohrstöcke oder andere rohrförmige Probenahmegeräte eignen sich aufgrund des beschränkten Innendurchmessers nur für feinkörnige Materialien. Es ist darauf zu achten, dass die minimal erforderliche Probenmasse gemäss Abbildung 34, Seite 73 erreicht wird.
- Eingefettete Geräte sind vor dem Einsatz zu reinigen (entfetten).
- Die Probenahmegeräte sind vor jeder Probenahme zu reinigen, um eine Querkontamination der nachfolgenden Probe zu vermeiden.

Tabelle 3

Verfahrenstechnologien zur Probenahme von bewegten Materialien (Auswahl)

Ort der Probenahme	Technologie
Förderband	Hammerprobenehmer
Förderrinne	Rinnenprobenehmer
Rohrleitung, Fallrohr	Fallrohrprobenehmer, Fallrohrlöffelprobenehmer, Fallrohrschwenkprobenehmer, Schneckenprobenehmer

Probenahmegeräte für verpackte Materialien

Abbildung 5

Probenahme aus einem Sack mit Zonensammler



Verpackungen aus Geweben oder Papier können zum Zweck der Probenahme mit geeigneten Probenahmegeräten durchstossen werden. Dieses Vorgehen kann nur bei feinkörnigen Materialien ($d_{\max} < 10 \text{ mm}$) durchgeführt werden. Als Probenahmegeräte eignen sich

- Spatel (spitzförmig),
- Probenahmerohr,
- Probenstecher,
- Zonensammler.

Probenahmegeräte für bewegte Materialien

Werden regelmässig Proben aus Abfallströmen, die in Bewegung sind, entnommen, kann sich die Installation eines automatischen Probensammlers lohnen. Die folgende Aufstellung fasst ohne Anspruch auf Vollständigkeit einige verbreitete Verfahrenstechnologien zusammen:

3.2.2 Methoden zur Probenahme

Tabelle 4

Eignung verschiedener Probenahmetechniken

Probenahmetechnik	Untergrundmaterial und gelagertes Material			verpacktes Material	bewegtes Material	Bemerkung	Verfahren (vgl. Kapitel 8, Seite 39)
	grobkörnig	feinkörnig	mit leichtflüchtigen Stoffen				
Entnahme mit Bohrstock	–	+	–			oberflächennah	U1
Entnahme mit Schneckenbohrer	(+)	+	–				U2, L3
Entnahme aus Bagger-schächten	+	+	(+)			nur Bagger-schächte < 1 m Tiefe	U3
Probenahme aus kleinkalib-rigen Bohrkernen	(+)	+	–			begrenzte Tiefe, begrenzte Probenmasse	U4
Probenahme aus grosskalib-rigen Bohrkernen	+	+	–				U5
Probenahme von ungestör-ten Bohrkernen		+	(+)				U6
Linerproben		+	+				U7
Entnahme aus Mieten/Haufen/Lagern mittels Radlader/Bagger	+	+	–				L1
Entnahme aus Haufen mit homogenem Inhalt: Schürfschlitze	+	+	–			nur bei homoge-nem Inhalt des Haufens	L2
Probenahme ab LKW und aus oben offenen Lagerbe-hältern	+	+	–				L4
Entnahme aus Probenah-mestutzen am Behälter				+			L5
Probenahme aus Big Bags oder Fässern				+			V1, V2
Entnahme aus fallenden Materialströmen					+		B1
Entnahme von Transport-bändern					+		B2
Probenahme bei Verlade-und Entladevorgängen					+		B3
Probenahme von Gleisau-shub							[25]

3.3 Sonderfälle

3.3.1 Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen

Es ist nur selten möglich, von leichtflüchtigen Stoffen aus einer Partie bzw. aus einer Charge repräsentative Proben zu entnehmen. Bei leichtflüchtigen Stoffen besteht in der Regel ein Gleichgewicht zwischen Flüssig- und Gasphase. Werden bei der Probenahme das Korngerüst des Matrixmaterials zerstört und neue Oberflächen geschaffen, verdampft sofort ein Teil der Flüssigphase, was zu grossen Probenahmefehlern führen kann.

Bei der Probenahme sind Verfahren zu vermeiden, welche eine Erwärmung des Probenmaterials verursachen (z. B. Rotationskernbohrungen) oder die Struktur des Probenmaterials stören (z. B. Schaufel) (vgl. Kapitel 6.3.4 in [15]).

Feinkörnige, mit leichtflüchtigen Aromaten oder VOC belastete Proben sollen in spezielle luftdicht verschliessbare Probengefässe (z. B. Head Space Vials oder 100 ml-Schottflaschen) abgefüllt werden (vgl. [23]). Dabei können nur geringe Probenmassen entnommen werden. Die Anforderungen an die minimale Probenmasse (Kapitel 11.1, Seite 72, Abbildung 34, Seite 73) können mit diesen Probengefässen deshalb meist nicht eingehalten werden.

Das Probenmaterial kann sofort nach der Entnahme mit einem geeigneten Lösungsmittel (z. B. Methanol) überschichtet werden. Damit wird der Analyt in die Flüssigphase extrahiert und der Dampfdruck weitgehend gesenkt.

Matrixmaterial, welches grobkörniger als Feinsand bis Mittelsand ist, kann grundsätzlich nicht repräsentativ auf leichtflüchtige Stoffe beprobt werden.

Weder mit speziellen Probengefässen noch mit Überschichtung kann verhindert werden, dass sich bei der Probenahme signifikante Verluste an leichtflüchtigen Stoffen ereignen, welche sich nicht quantifizieren lassen.

Messungen von Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen ermöglichen vergleichende und orientierende Aussagen. Die Messwerte sind allerdings mit einer Unsicherheit behaftet.

3.3.2 Feststoffproben mit partikulären Metallen

Bei Proben mit partikulären Metallen (z. B. Kugelfangmaterial von Schiessanlagen) trifft der implizite Ansatz, dass die Probe sukzessive zerkleinert und geteilt werden kann, nicht zu: Nach dem Zerkleinerungsvorgang liegen die partikulären Metalle (z. B. Geschossfragmente) immer noch intakt im Sieb vor und entziehen sich der Erfassung durch die Laboranalyse (vgl. [23]).

Bei Feststoffproben mit partikulären Metallen ist die Probenreduktion so zu gestalten, dass die Metallstücke, die sich nicht auf Analysenfeinheit zerkleinern lassen, aus dem Probenmaterial entfernt werden. Die nicht-zerkleinerbaren partikulären Metalle müssen allerdings auch in die Analytik miteinbezogen werden. Schlussendlich sind diese Partikel ja auch im Probematerial vorhanden und werden – z. B. im Fall einer Ablagerung – auch in die Umwelt eingebracht (vgl. [23]).

3.3.3 Flüssige Stoffe in Mehrphasensystemen

Stoffe wie chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) haben eine beschränkte Wasserlöslichkeit. Übersteigt die Konzentration die Löslichkeitsgrenze, kann neben der wässrigen Phase eine weitere organische Phase in Form von Tropfen, Klumpen oder zusammenhängenden Bereichen zwischen den Körnern des Matrixmaterials vorliegen. Wenn beim Probenahmevergange das Korngerüst des Matrixmaterials zerstört oder aufgelockert wird, können solche Mehrphasensysteme mobilisiert werden. Sie sickern tiefer ins Matrixmaterial und fehlen dadurch im entnommenen Probenmaterial (vgl. Kapitel 10.3, Seite 70).

Bei der Beprobung von CKW-haltigen Materialien ist eine Störung des Korngefüges in vielen Fällen unumgänglich. Bei der Probenahme resultiert daher zwangsläufig ein Wegfliessen von flüssiger CKW-Phase. Eine gestörte Feststoffprobe ergibt in den meisten Fällen nur Minimalwerte für den CKW-Gehalt ([30]).

Repräsentativere Resultate liefern «ungestörte Kernentnahmen» beispielsweise bei Kernbohrungen mit Probenhülse (Doppelkernrohr, Liner). Generell sollte nur das Kerninnere für die Probe verwendet werden ([30]; Methode U7, Seite 47).

3.3.4 Stoffe mit speziellen Anforderungen hinsichtlich Lagerung und Transport

Folgende Stoffe gelten hinsichtlich Lagerung und Transport als kritisch:

- Alle flüchtigen oder biologisch abbaubaren Stoffe (z. B. Benzin, Methylenchlorid, Chloroform),
- leichtflüchtige Aromaten (z. B. Benzol, Toluol),
- Quecksilber.

Die Vorkehrungen für Lagerung und Transport von Feststoffproben, welche diese Stoffe enthalten, sind im Kapitel zu den Probenbehältnissen beschrieben (vgl. Kapitel 5.1, Seite 31). Es gelten folgende Grundsätze:

- möglichst schnell,
- möglichst gekühlt,
- möglichst ohne Lichteinwirkung.

3.3.5 Stoffe mit speziellen Anforderungen hinsichtlich Arbeitssicherheit

Manche Stoffe gelten als gesundheitsschädlich und bedingen bei der Probenahme spezielle Vorkehrungen hinsichtlich Arbeitssicherheit der beteiligten Personen und es sind die entsprechenden SUVA-Vorschriften einzuhalten (z. B. Schutzkleidung, bei Asbestverdacht: Atemschutzmaske entsprechend den SUVA-Vorschriften, vgl. [36] usw.):

- Lungengängige Faserstäube und Feinstäube, insbesondere asbesthaltige Materialien,
- Hautgefährdende Stoffe ([8]),
 - Ätzende Stoffe (z. B. Zement, Holzaschen),
 - Stoffe mit bekanntem Risiko für allergische Kontaktekzeme,
 - unausgehärtete Kunststoffe und Kunstharze,
 - Inhaltsstoffe aus der Gummiproduktion,
 - Biozide,
 - Metallionen (z. B. Zement und Holzaschen aufgrund des CrVI-Gehalts, lösliche Nickelverbindungen),
- Hautresorptive Stoffe ([8]),
 - aromatische und aliphatische Amino- und Nitroverbindungen wie Anilin, Toluidin, Nitrobenzol, Triethylamin oder Anisidin,

- zahlreiche Phenolverbindungen wie Phenol, Kresol oder Hydrochinon,
- spezielle Lösemittel wie Dimethylformamid (DMF), Glykolether, Ethylbenzol,
- halogenierte Kohlenwasserstoffe wie Chlorbenzol, Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff,
- zahlreiche Pestizide, insbesondere Organophosphate, z. B. Parathion,
- manche metallorganischen Verbindungen, insbesondere die sehr giftigen Methylquecksilberverbindungen,
- Dimethylsulfoxid sowie
- Benzin, Frostschutzmittel, Bremsflüssigkeit,
- schwermetalhaltiger Aushub (z. B. aus Kugelfängen von Schiessanlagen, mit Quecksilber belastetes Material, mit Cadmium belastete Stäube),
- dioxinhaltige Schlacken,
- PAK-haltige Materialien wie teerhaltige Beläge, Aushub mit Strassenaufbruch,
- PCB-haltige Materialien (Sedimente, Schlämme, Aushub), (nicht abschliessende Auflistung).

Bei Probenahmen von Materialien mit gesundheitsschädlichen Substanzen sind rechtzeitig Arbeitsschutzmassnahmen für die Probenahme zu planen.

Sollen Gebinde mit besonders gefährdenden Substanzen beprobt werden, empfiehlt sich der Einsatz von Handschuhkästen (Glove Box).

3.3.6 Vorgehen bei grossen Probenmassen

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die für Material mit einer partikulären Kontamination nach Abbildung 34, Seite 73 bestimmten minimalen Probenmassen einen akzeptierten relativen Probenahmefehler von (ϵ) = 20 % beinhalten ([23], [27]). Um diesen akzeptierten Fehler zu reduzieren, müsste die Probenmasse weiter erhöht werden (vgl. Anhang 3, Seite 83, Abschnitt A3.1, Seite 83; vgl. Abbildung 40, Seite 86).

Abbildung 34, Seite 73 zeigt aber auch, dass bereits ab einem Korndurchmesser von $d_{\max} \approx 50 \text{ mm}$ Probenmassen erforderlich sind, deren Aufbereitung im Labor zu aufwändig ist. Hier zeigt sich die Wirkung des in der 3. Potenz in die Massenberechnung eingehenden Korndurchmessers. Eine repräsentative Beprobung von grob-

körnigem Material ist daher in der Praxis nicht möglich (vgl. Anhang 3, Seite 89, Gleichung (2), Seite 84).

Falls solches Probenmaterial zu untersuchen ist, kann das Grobkorn durch Absieben vom Feinkorn getrennt werden. Das Verfahren kann auch bei kleineren Korndurchmessern sinnvoll sein (vgl. Verfahren S1, Seite 58).

Der Massenanteil der abgetrennten Grobfraction kann nicht einfach rechnerisch als sauberer Massenanteil zum analysierten Feinanteil addiert werden. Die beiden Kornfraktionen sind separat zu behandeln:

- Aus dem Feinanteil (= Siebdurchgang) wird eine Laborprobe mit der erforderlichen Probenmasse gemäss Abbildung 34, Seite 73 entnommen und als Laborprobe gemessen.
- Ein Teil der Grobfraction kann im Sinne einer beurteilenden Probe orientierend gemessen werden. Bei Material mit groben Betonstücken oder grobem Kies ist die Messung des Grobanteils hingegen nicht sinnvoll.
- Nur wenn davon ausgegangen werden kann, dass die abgesiebte Grobfraction als unbelastet gilt, kann mit dem Massenanteil der Grobfraction der Gesamtgehalt des Materials berechnet werden.
- Das Vorgehen bedingt grössere Unsicherheiten, welche bei der Beurteilung der gesamten Unsicherheit der Probenahme zu berücksichtigen sind (vgl. Kapitel 12, Seite 75).
- Dieses Vorgehen liefert keine klaren Nachweise der Einhaltung von Grenzwerten, wenn der erwartete Messwert im Bereich des massgebenden Grenzwerts liegt. In diesen Fällen ist das Vorgehen mit den Vollzugsbehörden abzusprechen.

4 Probenvorbehandlung

4.1 Herstellen von Sammel- oder Mischproben

Um von einer Gesamtheit eine repräsentative Probe zu erhalten, können mehrere Einzelproben zu einer Mischprobe vereinigt werden. Dabei wird angenommen, dass der Gehalt des Messparameters in der Mischprobe etwa dem Mittelwert des Gehalts der beprobten Gesamtheit entspricht. Damit kann die Heterogenität der Gesamtheit bei der Probenahme weitgehend ausgeglichen werden ([20], [28], [32]).

Mischproben aus Einzelproben werden auch hergestellt, um die minimal erforderliche Probenmasse der Laborprobe zu erreichen (vgl. Kapitel 11, Seite 72ff).

Zur Herstellung der Mischprobe müssen Anzahl und Verteilung der Einzelproben innerhalb der Gesamtheit festgelegt werden. Im Grundsatz gilt:

- je grösser die Probenanzahl, desto besser ist die Reproduzierbarkeit,
- die Heterogenität des Messparameters kann durch die Erhöhung der Anzahl Einzelproben nur bis zu einem bestimmten Grad erfasst werden ([20]). Deshalb soll die Gesamtheit, von der eine Mischprobe hergestellt wird, so homogen wie möglich sein.

Das Vorgehen zur Herstellung einer Mischprobe (vgl. Verfahren M1, Seite 56) kann nicht für jeden Einzelfall vorgegeben werden, sondern muss auf Grund von Plausibilitätsüberlegungen in Bezug auf die Belastungshypothese festgelegt werden ([28]). Es ist zu beachten, dass während Analyseaufwand und Unsicherheit (vier Einzelproben reduzieren die Unsicherheit in etwas auf die Hälfte) durch Herstellung einer Mischprobe reduziert werden, ein Verlust von Information zur Streuung von Daten (örtlich/zeitlich) möglich ist.

4.2 Homogenisierung von Probenmaterial

Wenn angenommen werden muss, dass das Material im Kern eines Haufens andere Eigenschaften aufweist als

das Material an der Oberfläche des Haufens, muss es vor der Probenahme homogenisiert werden. Eine Möglichkeit, Proben aus einem Haufen zu entnehmen, welche sowohl den Kern wie auch die Oberfläche des Haufens repräsentieren, bietet die Mischbettmethode H1 (vgl. Verfahren H1, Seite 56). Das Mischbettverfahren ist jedoch sehr aufwändig und bedingt einen grossen Arbeits- und/oder Maschineneinsatz.

4.3 Aufteilen einer Probe

Speziell bei Sammelproben kann es notwendig sein, das als Feldprobe entnommene Probenmaterial zu einer Laborprobe aufzuteilen bzw. zu reduzieren.

Die Masse der aufgeteilten bzw. reduzierten Probe soll nicht kleiner sein als die für die Laborprobe erforderliche minimale Probenmasse gemäss Kapitel 11, Seite 72ff.

Die Techniken der Probenteilung müssen gewährleisten, dass auch Proben mit Entmischungsneigung korrekt geteilt werden.

Für die Teilung kommen grundsätzlich folgende Techniken in Frage:

Tabelle 5
Techniken zur Aufteilung bzw. Reduktion einer Probe

Technik	Verfahren	Bemerkung
Aufteilen mit Riffelteiler	A1, Seite 59	nur für rieselfähiges Material
Aufteilen durch inkrementierendes Schaufeln	A2, Seite 60	
Aufteilen durch Vierteln mittels Probenkreuz	A3, Seite 61	aufwändig, in der Praxis selten angewendet
Aufteilen mit alternierendem Schaufeln	A4, Seite 62	
Aufteilen auf einer Folie	A5, Seite 63	
Aufteilen mit Rotationsteilern oder anderen automatischen Teilern	A6, Seite 63	nur für ausgetragene Materialströme

5 Verpackung und Transport

5.1 Probenbehältnisse

Die Probenbehälter sollen derart beschaffen sein, dass beim Transport und bei der Aufbewahrung keine Schadstoffverluste möglich sind ([23]).

Die Laborprobe ist in saubere, trockene, feuchtigkeits- undurchlässige, weitgehend luftdichte und ausreichend grosse verschliessbare Behältnisse einzufüllen und zu verschliessen. Es ist empfehlenswert eine Reserve an Behältnissen für Probeteilungen und zusätzliche Proben einzuplanen (vgl. Abschnitt 4.1 in [7]). An die Behältnisse werden ferner folgende Anforderungen gestellt:

- die Wandstärke der Behältnisse soll ausreichend hoch sein, so dass diese den Beanspruchungen während Probenahme und Transport widerstehen,

- die Behältnisse sollen so gewählt werden, dass keine Sorption von Schadstoffen in und an den Verpackungswänden und keine Kontamination der Proben durch Inhaltsstoffe des Verpackungsmaterials eintritt,
- die Behältnisse sollen aus einem Material hergestellt sein, das mit dem Abfall und dem erwarteten Schadstoffspektrum kompatibel ist. Damit soll sichergestellt werden, dass die Behältnisse aufgrund von chemischen Angriffen weder deformieren noch reissen,
- für Proben mit leichtflüchtigen Schadstoffen sind Kunststoffbehältnisse nicht geeignet. Geeignet sind Weithals-Glasbehälter mit PTFE-Einlage im Deckel vorzusehen. Die Gefässe sollen randvoll befüllt werden,
- Proben mit lichtempfindlichen Schadstoffen sind vor Licht zu schützen, z. B. durch braune Glasbehältnisse,
- es sollen grundsätzlich nur neue Behältnisse verwendet werden. Dadurch wird das Risiko von Querkontaminationen durch bereits benutzte Behältnisse vermieden.

Tabelle 6

Behälterart, Grösse und Konservierung von Feststoffproben

Parameter	Behälterart und Grösse	Konservierung	Bemerkung
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ – C ₄₀ , Aniline, Nitroaromaten, PAK, PCB, Phenole, Metalle	Glasbehälter für Proben < 1 kg, PE-Dosen, PE-Beutel PE-Kunststoffeimer oder Kunststoffsäcke (z. B. Nalgen) für Proben > 1 kg UN-geprüfte Gebinde bei Sonderabfällen in grösseren Mengen	im Dunkeln, kühl und luftdicht verschlossen lagern	Bei Kunststoffbeuteln bewährt sich eine doppelte Verpackung, weil so bei Beschädigung ein zusätzlicher Schutz besteht.
Leichtflüchtige Stoffe: KW _{C5} – C ₁₀ , BTEX, Quecksilber, Quecksilberverbindungen	luftdicht verschliessbare Glasbehälter mit PTFE-Einlage im Verschluss	Kühl und dunkel lagern. Ev. Konservierung mit Methanol gemäss [23]	Behälter ganz füllen, sofort verschliessen. Der Luftraum ist möglichst klein zu halten.
Asbesthaltiges Material	Gefülltes Behältnis zusätzlich in Asbest-Abfallbeutel luftdicht verpacken:		Vgl. SUVA-Factsheets [36], [37] Massnahmen des Personenschutzes gemäss SUVA

Abbildung 6

Probenbehälter für Feststoffproben

PE-Eimer 15 Liter PE-Eimer 10 Liter PE-Eimer 3 Liter PE Eimer 1 Liter Konfi-Glas 0,5 Liter EPA-vial 40 ml

Quelle: www.wessling-group.com, mit freundlicher Genehmigung Wessling AG

5.1.1 Spezielle Anforderungen bei Proben mit leichtflüchtigen Stoffen

Bei Feststoffproben mit chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) können bis zu 100 % der CKW verloren gehen, wenn das Probenmaterial bei hohen Temperaturen und über längere Zeit der Umgebungsluft ausgesetzt ist, wenn der Transport in nicht diffusionsdichten Kunststoffeimern erfolgt und wenn eine lückenlose Kühlung nicht möglich ist ([30]).

Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen sind daher in gekühlten luftdichten Probeflaschen ins Labor zu transportieren (Glasgefäße mit PTFE-Einlage im Schraubverschluss). Alternativ kann die Probe direkt nach der Probenahme mit Methanol überschichtet werden (vgl. Wegleitung Messmethoden [23]: Methode F-8; vgl. Kapitel 6.3.2 in DIN 19747, [9]).

Bei Direct-Push-Sondierungen (DP) können Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen in Kunststoff-Linern direkt aus dem Bohrloch entnommen werden. Das Verfahren eignet sich nur bei feinkörnigem Untergrundmaterial. Da insbesondere chlorierte Kohlenwasserstoffe durch den Kunststoff-Liner diffundieren können, sind die Liner sofort zu kühlen und umgehend gekühlt ins Labor zu transportieren.

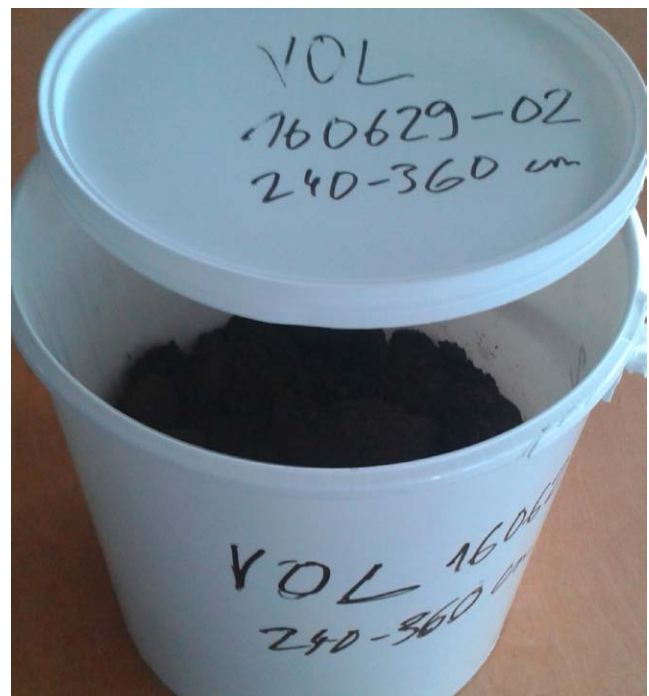
5.2 Beschriftung

Um Verwechslungen von Proben zu vermeiden, sind die Probenbehälter möglichst eindeutig, aber vorzugsweise einfach zu kennzeichnen mit:

- Probennummer,
- Herkunft oder beprobter Partie/Charge,
- Datum der Probenahme.

Es soll nicht (nur) der Deckel des Behälters, sondern der Behälter selbst mit wasserfestem Filzstift beschriftet werden. Eine Beschreibung der Proben soll auf einem Begleitzettel (Probennahmeprotokoll, Laborauftrag) mitgeliefert werden (vgl. Kapitel 6, Seite 34).

Abbildung 7

Beschriftung eines Probenahmebehälters

5.3 Transport

Bei Proben mit leichtflüchtigen Stoffen, Anilinen oder Phenolen sollen die Proben zeitnah beim Untersuchungslabor eintreffen, damit zeitlich bedingte Veränderungen der Probe weitestgehend vermieden werden (vgl. Abschnitt 6.5 in [9]).

Bei leichtflüchtigen Schadstoffen ist die Kühlkette aufrecht zu halten. Dazu sind spezielle Versandverpackungen mit Trockeneisfüllung erhältlich.

5.4 Lagerungsbedingungen

Die Probenbehälter sind trocken, gekühlt und dunkel zu lagern.

6 Dokumentation der Probenahme

6.1 Probenahmeprotokoll

Für jede Laborprobe soll ein vom Probennehmer bzw. der Probennehmerin unterschriebenes Probenahmeprotokoll beigelegt werden, aus dem im Minimum folgende Angaben hervorgehen:

- Eindeutige Probennummer,
- Datum und Uhrzeit der Probenahme,
- Probenahmeort, Probenahmetiefe,
- die Bezeichnung des Materials bzw. Produkts,
- Körnung, Korngrösse,
- organoleptische Auffälligkeiten (Farbe, Geruch, u. ä.; vgl. Verfahren S1, Seite 58),
- sichtbares Schadstoffinventar, Fremdanteil,
- entnommene Probenmasse,
- Auftraggeber, Produktionsstätte, Probennehmer/Probennehmerin,
- Bedingungen bei der Probenahme (z. B. Wetter, Temperatur, Feuchtigkeit, o. ä.).

Abweichungen von der Probenahmenvorschrift oder sonstige Auffälligkeiten sind auf dem Probenahmeprotokoll zu vermerken.

Ein Beispiel eines Probenahmeprotokolls findet sich in Anhang 4, Seite 88.

- zu messende Parameter (Untersuchungsprogramme oder Einzelparameter).

Um einen reibungslosen Informationsfluss zwischen Probennehmer bzw. Probennehmerin und Labor zu unterstützen, wird empfohlen, dem Analytiklabor mit dem Laborauftrag auch Kopien der Probenahmeprotokolle abzugeben.

Ein Beispiel eines Laborauftrags findet sich in Anhang 5, Seite 89.

6.2 Laborauftrag

Die entnommenen Proben werden mit einem Laborauftrag dem Labor übergeben. Der Laborauftrag enthält eine Auflistung aller zu messenden Proben mit folgenden Angaben für jede Probe:

- Eindeutige Probennummer,
- Datum und Uhrzeit der Probenahme,
- Probenahmeort, Probenahmetiefe,
- gesetzlicher Rahmen der Beprobung und Messung (Grenzwerte gemäss VVEA, VBBo, ...) und Vorgaben für die Probenaufbereitung,

Teil II Vorgehen und Methoden

Dieser zweite Teil der Vollzugshilfe stellt die praktischen Vorgehensweisen bei der Probenahme von festen Abfällen zusammen:

In bewusst kurz gefasster Weise werden Angaben zur Planung und zu einem breiten Spektrum der Probenahmemethoden dem Praktiker zur Verfügung gestellt. Wiederholungen aus dem vorangehenden Teil I sind beabsichtigt.

7 Planung

7.1 Minimale Probenmasse

Vgl. Kapitel 11, Seite 72ff

7.1.1 Material mit partikulärer Kontamination

Vgl. Kapitel 11, Seite 72; vgl. Abbildung 34, Seite 73

Der nachfolgende Text, die Abbildung und die Tabelle gelten für Feststoffproben mit anorganischen Schadstoffen:

- Aushubmaterial mit Schwermetallen,
- übriges Material mit in partikulärer Form vorliegenden (Schwer-)Metallen (z. B. Geschossfragmente), sowie
- PAK-haltiger Ausbauasphalt (z. B. Strassenaufbruch),
- Teerölpartikel,
- Schlacken und Giessereisande,
- Mischabbruch mit PCB-haltigen Bauabfällen wie Fenster- und Fugenkitt,
- weiteres Material mit partikulär vorliegenden Stoffen.

Abbildung 8

Material mit einer partikulären Kontamination

Minimal notwendige Probenmasse in Abhängigkeit von der maximalen Korngrösse der Probe. Nach [13], [16], [23], [27]. Rückstellproben sind in der minimal notwendigen Probenmasse nicht enthalten.

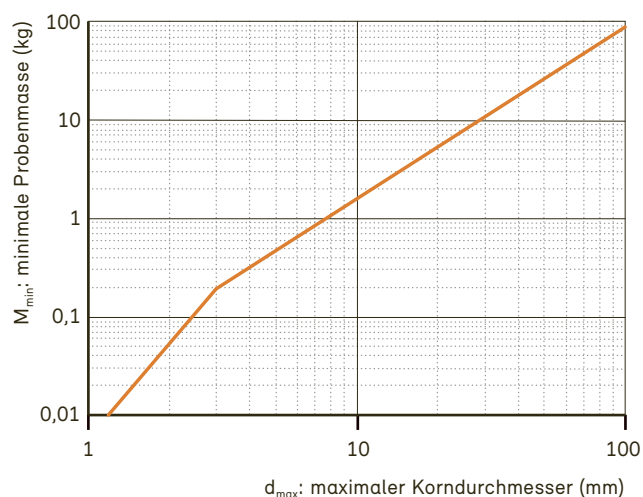


Tabelle 7

Material mit einer partikulären Kontamination

Minimal notwendige Probenmasse in Abhängigkeit von der maximalen Korngrösse der Probe, Beispiele:

$d_{\max}$: maximaler Korndurchmesser	$M_{\min}$: Minimal erforderliche Probenmasse
10 cm	100 kg
5 cm	30 kg
2 cm	6 kg
1 cm	1.5 kg
5 mm	500 g → empfohlen: 1 kg
1 mm	5 g → empfohlen: 1 kg

7.1.2 Material mit Oberflächenkontamination

Die minimale Probenmasse ist auch eine Funktion der Stoffe und deren Art des Vorliegens in der Matrix (vgl. Kapitel 11, Seite 72; vgl. Abbildung 35, Seite 74).

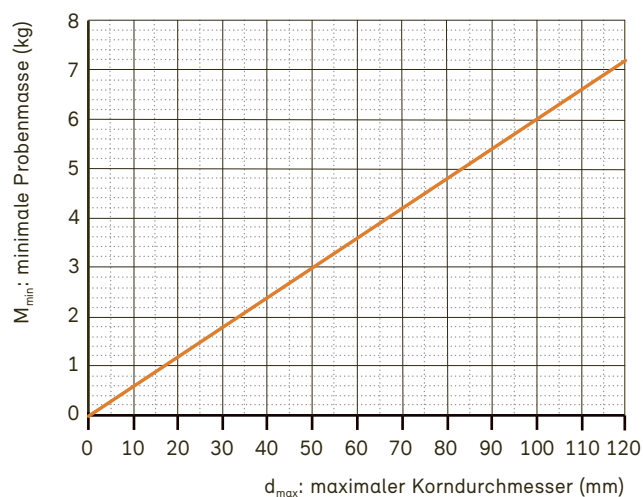
Der nachfolgende Text, die Abbildung und die Tabelle gelten für Feststoffproben bei einer Oberflächenkontamination mit organischen Schadstoffen:

- aliphatische und monocyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (KW_{C5-C10} , $KW_{C10-C40}$, BTEX),
- Benzin, Heizöl, Diesel, Kerosin,
- PCB-haltige Öle,
- chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW),
- weitere flüssige Stoffphasen.

Abbildung 9

Oberflächenkontamination des Matrixmaterials

Minimal notwendige Probenmasse in Abhängigkeit von der maximalen Korngrösse der Probe, nach [13]. Rückstellproben sind in der minimal notwendigen Probenmasse nicht enthalten.



$$M_{\min} \approx 0.06 d_{\max} \quad \begin{array}{l} M_{\min} \text{ in kg} \\ d_{\max} \text{ in mm} \end{array}$$

Tabelle 8

Oberflächenkontamination des Matrixmaterials

Minimal notwendige Probenmasse in Abhängigkeit von der maximalen Korngrösse der Probe, nach [11]. Beispiele:

$d_{\max}$: maximaler Korndurchmesser	$M_{\min}$: Minimal erforderliche Probenmasse
10 cm	6 kg
5 cm	3 kg
2 cm	1.2 kg
1 cm	600 g → empfohlen: 1 kg
5 mm	300 g → empfohlen: 1 kg
1 mm	60 g → empfohlen: 1 kg

7.2 Anzahl Proben

Vgl. Kapitel 2.3.2, Seite 20

7.2.1 Beprobung eines Homogenbereichs im Untergrund

Aus einem Homogenbereich im Untergrund sollen im Minimum zwei Mischproben entnommen und gemessen werden.

7.2.2 Beprobung von Haufwerken

Die verschiedenen Einzelproben sind gleichmässig über die gesamte Partie oder Charge verteilt zu entnehmen. Die Probenahmestellen sind im Probenahmeprotokoll festzuhalten. Das Gewicht oder Volumen der Einzelproben soll ungefähr gleich gross sein. Kapitel 8.1, Seite 40 und Anhang 2, Seite 81 (Merkblatt [33]) enthalten Hinweise für die Durchführung einer organoleptischen Prüfung bei Haufwerken, sowie auch praktische Vergleichsbilder, welche die visuelle Beurteilung des Fremdanteils in Haufwerken unterstützen.

7.2.3 Begleitung von Aushub- und Entsorgungsarbeiten bzw. bei der Aushubtriage

Die Homogenität der Abfallcharge ist mit einer organoleptischen Prüfung sicherzustellen. Bei organoleptischen Auffälligkeiten sollen die Chargengrenzen markiert und die gesamte Abfallcharge wie mehrere Teilchargen beprobt werden (vgl. Kapitel 3.1.1, Seite 22; vgl. Verfahren O, Seite 40).

Tabelle 9

Mindestanzahl Proben aus Abfallchargen mit homogenen Materialeigenschaften

Volumen der Abfallchargen	Anzahl Einzelproben	Anzahl Mischproben	Anzahl Laborproben
bis 20 m ³ lose	1	1	1
bis 100 m ³ lose	4	1	1
bis 200 m ³ lose	8	2	2
Jede angefangene 100 m ³ lose	+4	+1	+1

7.2.4 Beprobung von Gebinden

Die Homogenität der Abfallcharge soll mit einer sensorischen Prüfung sichergestellt werden. Die zu beprobenden Gebinde für die sensorische Prüfung oder für die Probenentnahme werden nach dem Zufallsprinzip ausgewählt.

Es sollen Mischproben aus mindestens vier Einstichen hergestellt werden. Die Einstiche sollen sowohl zentrisch wie auch im Randbereich des Gebindes erfolgen.

Liegen unterschiedliche Materialien in den Gebinden vor, sind diese als getrennte Chargen separat zu beproben.

Tabelle 10

Mindestzahl der zu beprobenden Gebinde: Fässer, Big Bags, Trommeln, weitere Gebinde

Anzahl Gebinde	Mindestanzahl der organoleptisch zu prüfenden Gebinde	Mindestanzahl der Gebinde, aus denen Mischproben herzustellen sind
bis 5	jedes Gebinde	1
bis 10	jedes Gebinde	2
bis 30	10	2
bis 60	15	3
bis 100	20	4
Jede weitere 100 Gebinde	+5	+1

7.2.5 Beprobung von Mulden (ohne Mulden aus Industrieprozessen)

Vorgehen bei der Beurteilung von Aushubmaterial in Mulden

Tabelle 11

Mindestanzahl Proben aus Mulden mit Aushubmaterial

Volumen des in Mulden gelagerten Aushubmaterials	Anzahl Einzelproben	Anzahl Mischproben	Anzahl Laborproben
bis 20 m ³ lose	1	1	1
bis 100 m ³ lose	4	1	1
bis 200 m ³ lose	8	2	2
Jede angefangene 100 m ³ lose	+4	+1	+1

Vorgehen bei der Beurteilung von anderen Abfällen in Mulden

Es sollen mindestens vier Einzelproben entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt werden. Pro Mulde soll mindestens eine Laborprobe hergestellt werden.

Tabelle 12

Mindestzahl der zu beprobenden Mulden mit Sonderabfällen

Anzahl Mulden	Mindestanzahl der sensorisch zu prüfenden Mulden	Mindestanzahl der Mulden, aus denen Mischproben herzustellen sind
bis 5	jede Mulde	1
bis 10	jede Mulde	2
bis 30	10	2
bis 60	15	3
bis 100	20	4
Jede weitere 100 Mulden	+5	+1

7.3 Arbeits- und Gesundheitsschutz (Checkliste)

Mindeststandard:

- Einweghandschuhe (siehe EN 388 Handschuhe),
- Staubmaske,
- Schutzbrille (siehe EN 166).

Probenahmearbeiten auf Baustellen:

- Sicherheitsschuhe,
- Helm,
- Warnweste,
- Gehörschutz.

Weitere Ausrüstung in gefährlichen Situationen:

- Gesichtsschild,
- Atemschutz,
- chemisch beständige Schutzkleidung,
- ex-geschütztes Funkgerät mit Totmannfunktion,
- bei Asbestverdacht: Atemschutzmaske gemäss [36].

Vgl. Kapitel 2.3.4, Seite 21. Weitere Informationen zu persönlichen Schutzausrüstungen (PSA): [38], www.suva.ch/waswo.

8 Methodensammlung

Tabelle 13

Übersicht über die verschiedenen Methoden

	Seite
8.1 Methode zur Abgrenzung	40
O Organoleptische Prüfung	40
8.2 Methoden zur Probenahme	41
8.2.1 Probenahme aus Untergrundmaterial	41
U1 Entnahme mit Bohrstock	41
U2 Entnahme mit Schneckenbohrer	42
U3 Entnahme aus Baggerschächten	43
U4 Probenahme aus kleinkalibrigen Bohrkernen	44
U5 Probenahme aus grosskalibrigen Bohrkernen	45
U6 Probenahme von ungestörten Bohrkernen	46
U7 Linerproben	47
8.2.2 Probenahme aus gelagertem Material	48
L1 Entnahme aus Mieten/Haufen/Lagern mittels Radlader/Bagger	48
L2 Entnahme aus Haufen mit homogenem Inhalt: Schürfschlitze	49
L3 Probenahme aus Mieten/Haufen/Lagern mittels Schneckenbohrer	50
L4 Probenahme ab LKW und aus oben offenen Lagerbehältern	50
L5 Entnahme aus Probenahmestutzen am Behälter	51
8.2.3 Probenahme aus verpacktem Material	51
V1 Probenahme aus Big Bags	51
V2 Probenahme aus Fässern	52
8.2.4 Probenahme aus bewegtem Material	54
B1 Entnahme aus fallenden Materialströmen	54
B2 Entnahme von Transportbändern	55
B3 Probenahme bei Verlade- und Entladevorgängen	55
B4 Probenahme von Gleisaushub	55
8.3 Methoden zur Probenvorbereitung	56
8.3.1 Herstellen einer Mischprobe	56
M1 Herstellen einer Mischprobe	56
8.3.2 Homogenisierung des Probenmaterials	56
H1 Mischbettmethode	56
8.3.3 Korngrößenreduktion (Sieben)	58
S1 Absieben im Feld/auf der Baustelle	58
8.3.4 Aufteilen einer Probe	59
A1 Aufteilen mit Riffelteiler	59
A2 Aufteilen durch inkrementierendes Schaufeln	60
A3 Aufteilen durch Vierteln mittels Probenkreuz	61
A4 Aufteilen mit alternierendem Schaufeln	62
A5 Aufteilen auf einer Folie	63
A6 Aufteilen mit Rotationsteilern oder anderen automatischen Teilern	63

8.1 Methode zur Abgrenzung

O Organoleptische Prüfung

Grösse der Partien/ Chargen	Beliebige Chargengrössen.
Ziel, Zweck	Eine organoleptische Prüfung der zu beprobenden Materialcharge erfolgt grundsätzlich vor jeder Probenahme. Sie dient in erster Linie dazu, • das zu beprobende Material nachvollziehbar zu beschreiben, • die Annahmen, welche bei der Planung der Probenahme getroffen worden sind, zu verifizieren und • bei Bedarf eine Unterteilung der zu beprobenden Charge in Homogenbereiche vorzunehmen. Sollte die organoleptische Prüfung ergeben, dass massgebende Annahmen der Arbeitshypothese (z.B. Grösstkorn, Stoffverteilung) nicht zutreffen, muss die Planung der Probenahme überprüft und ggf. korrigiert werden, beispielsweise hinsichtlich minimaler Probenmasse und hinsichtlich Anzahl Proben.

Abbildung 10: Abfallhaltiges Aushubmaterial auf einem Haufwerk



Vorgehen bei Untergrundmaterial	Die organoleptische Beurteilung von abfallhaltigem Untergrundmaterial erfolgt entweder • durch die optische und geruchliche Beurteilung von Bohrkernen oder • durch visuelle Beurteilung der Wände des geöffneten Sondierschachts. Je nach Tiefe und Lichtverhältnissen kann die Beurteilung der Wände von Sondierschächten schwierig sein. Ungesicherte Schächte und Gräben mit Tiefen > 1 m dürfen nicht begangen werden. In diesen Fällen ist das auf einem Haufen gelagerte ausgehobene Material zu beurteilen (vgl. unten).
Vorgehen bei gelagertem Material	Bei Haufwerken ist die gesamte Oberfläche optisch und geruchlich zu beurteilen. Bei grossen Haufwerken kann es vorkommen, dass das Innere andere Eigenschaften aufweist als das zuletzt geschüttete, an der Oberfläche sichtbare Material. In diesem Fall ist eine Probe mit einem Probenahmegerät (Bohrstock, Probenstecher, Schaufel, Bagger) aus dem Zentrum des Haufens zu entnehmen und mit dem Material an der Oberfläche zu vergleichen.
Vorgehen bei verpacktem Material	Sollen mehrere Fässer beprobt werden, werden Proben über die gesamte Gebindetiefe entnommen und organoleptisch auf Homogenität geprüft. Die Mindestanzahl der organoleptisch zu prüfenden Gebinde ist in Kapitel 7.2.4, Seite 37, Tabelle 10, Seite 38, festgehalten. Bei der Entnahme der Proben für die organoleptische Prüfung besteht keine Anforderung an die Mindestmasse. Der Durchmesser des Probenahmegeräts soll jedoch entsprechend dem Grösstkorn ausgewählt werden. Vorgehen für jedes organoleptisch zu prüfende Fass: • Fass vorsichtig öffnen, es kann ein Druckausgleich stattfinden, • eine Probe mit einem Probenahmegerät (Bohrstock, Probenstecher, Zonensammler) aus dem Zentrum und eine Probe aus dem Randbereich entnehmen, aus dem Probenahmegerät entnehmen und in ein möglichst transparentes Probengefäss geben, • Fass verschliessen. Nach Abschluss der Probenentnahme werden die aus den Gebinden entnommenen Proben organoleptisch verglichen: • Wird die Homogenität der Charge bestätigt, erfolgt die Probenahme gemäss V1, Seite 51, oder V2, Seite 52. • Wird die Homogenität der Charge <i>nicht</i> bestätigt, ist jedes Gebinde einer organoleptischen Prüfung zu unterziehen und entsprechend des Befunds in Teilchargen zu klassifizieren.

O Organoleptische Prüfung

Dokumentation Die bei der organoleptischen Prüfung gemachten Feststellungen werden auf dem Probennahmeprotokoll vermerkt (vgl. Kapitel 6.1, Seite 34, sowie Anhang 4, Seite 88).

Zu beurteilende Merkmale (vgl. Abschnitt 3.1.1, Seite 22)	• Farbe • Korn- bzw. Stückgrößenverteilung • Fremdanteil • Konsistenz • Geruch • Gasentwicklung • Ggf. Fingerprobe (Persönliche Schutzmassnahmen beachten)
---	--

Ref. [17]

8.2 Methoden zur Probenahme

8.2.1 Probenahme aus Untergrundmaterial

U1 Entnahme mit Bohrstock

Voraussetzungen Die Entnahmetiefe des Bohrstocks ist auf ca. 1 m beschränkt. Der Bohrstock wird daher überwiegend bei der Entnahme von Bodenproben eingesetzt (vgl. [28]). Der Innendurchmesser des Bohrstocks muss mindestens dem Dreifachen des Grösstkorndurchmessers im zu beprobenden Material entsprechen (vgl. Kapitel 3.1.1, Seite 22). Der Bohrstock wird vor allem bei bindigem und feinkörnigem Material eingesetzt. Grobkörniges oder hart gelagertes Material verunmöglicht oft Einstiche bis zur erforderlichen Tiefe.

Abbildung 11: Bohrstock



Vorgehen **Flächenproben** mit mehreren Einstichen werden dort gewonnen, wo auf Grund der Belastungshypothese *kein* bedeutender horizontaler Gradient der Schadstoffgehalte erwartet wird. Bei einer Probenahme­fläche von 100 m² sind erfahrungsgemäss 16 bis 25 Einzelproben für eine Mischprobe ausreichend ([32]). **Linienproben** mit mehreren Einstichen werden dort gewonnen, wo auf Grund der Belastungshypothese ein bedeutender Gradient der Schadstoffgehalte erwartet wird. Die Probenahmelinie wird senkrecht zum erwarteten Gradienten gelegt. Auf dieser werden Einzelproben über die ganze Linienlänge in systematischen Abständen verteilt. Die Einstiche zur Gewinnung der Einzelproben werden von Hand mit dem Bohrstock ausgeführt. Dabei werden aus dem gewünschten Tiefenbereich Kerne entnommen.

Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe Die Kerne der Einzelproben werden in einem geeigneten Probenahmegefäss (in der Regel Plastikeimer, vgl. Abbildung 6, Seite 32) gesammelt und zu einer Mischprobe vereinigt (Verfahren M1, Seite 56).

Aufteilen der Sammelprobe Da in der Regel mit dem Bohrstock nur geringe Probenmassen entnommen werden können, erübrigt sich ein Aufteilen der Probe in den meisten Fällen.

U1 Entnahme mit Bohrstock

Bemerkung Bei grobkörnigem Material ist es u.U. schwierig, die nach Kapitel 11, Seite 72ff erforderliche Probenmasse mit vertretbarem Aufwand zu erreichen. In diesem Fall müssen grössere Fehler akzeptiert werden (vgl. Abbildung 40, Seite 86).

Ref. [28], [32]

U2 Entnahme mit Schneckenbohrer

Voraussetzungen Die Entnahmetiefe des Schneckenbohrers ist auf ca. 1 bis 1.5 m beschränkt. Der Schneckenbohrer wird daher überwiegend bei der Entnahme von Bodenproben (vgl. [28]) oder auf Abfallablagerungen mit gering mächtiger Überdeckung eingesetzt. Der Schneckenbohrer wird vor allem bei bindigem und feinkörnigem Material eingesetzt. Grobkörniges oder hart gelagertes Material setzt dem Einsatz des Geräts Grenzen.

Abbildung 12: Probenahme mit Schneckenbohrer aus einer Abfallablagerung



Vorgehen

Flächenproben mit mehreren Einstichen werden dort gewonnen, wo auf Grund der Belastungshypothese *kein* bedeutender horizontaler Gradient der Schadstoffgehalte erwartet wird. Bei einer Probenahme­fläche von 100 m² sind erfahrungsgemäss 16 bis 25 Einzelproben für eine Mischprobe ausreichend ([32]).

Linienproben mit mehreren Einstichen werden dort gewonnen, wo auf Grund der Belastungshypothese ein bedeutender Gradient der Schadstoffgehalte erwartet wird. Die Probenahmelinie wird senkrecht zum erwarteten Gradienten gelegt. Auf dieser werden Einzelproben über die ganze Linienlänge in systematischen Abständen verteilt. Die Einstiche zur Gewinnung der Einzelproben werden von Hand mit dem Schneckenbohrer ausgeführt. Das Probenmaterial wird mit einer kleinen Schaufel oder mit einem Spatel aus der Bohrschnecke entnommen.

Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe

Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).

Aufteilen der Sammelprobe

Da in der Regel mit dem Schneckenbohrer nur geringe Probenmassen entnommen werden können, erübrigt sich ein Aufteilen der Probe in den meisten Fällen.

Bemerkung

Bei grobkörnigem Material ist es u.U. schwierig, die nach Kapitel 11, Seite 72ff erforderliche Probenmasse mit vertretbarem Aufwand zu erreichen. In diesem Fall müssen grössere Fehler akzeptiert werden (vgl. Abbildung 40, Seite 86).

Ref. [28], [32]

U3 Entnahme aus Baggerschächten

Arbeitssicherheit

Ungesicherte Schächte und Gräben mit Tiefen > 1 m dürfen nicht begangen werden: Eine direkte Probenahme aus der Wand oder dem Boden von Sondierschächten mit einer Tiefe > 1 m ist in den meisten Fällen aus Gründen der Arbeitssicherheit nicht möglich.

Abbildung 13: Baggersondierung



Vorgehen

Nur in *untiefen*, begehbaren Schächten und Gräben (Tiefe < 1 m) erfolgt die Probenahme direkt aus der freigelegten Wand oder vom Boden. Dabei sind die Homogenität des aufgeschlossenen Materials und die minimal erforderliche Probenmasse (Kapitel 11, Seite 72ff) speziell zu beachten.

Bei Sondierschächten mit Tiefen > 1 m muss die Probenahme aus dem seitlich aufgeschütteten Materialhaufen erfolgen: Vorgehen gemäss L1 Seite 48 bis L3 Seite 50.

Nur bei *homogenem* Probenmaterial kann die Probenahme direkt aus der Baggerschaufel erfolgen.

Bemerkung

Speziell zu beachten bei Proben mit leichtflüchtigen Stoffen:

In bindigen Böden sind bei sorgfältiger Ausführung auch *ungestörte* Probenahmen von Material mit leichtflüchtigen Stoffen möglich: z. B. gestochene Proben aus «Schollen» ([30]). Lange Kontaktzeiten des Probenmaterials mit der Umgebungsluft sind zu vermeiden.

Ref.

–

U4 Probenahme aus kleinkalibrigen Bohrkernen

Voraussetzungen	Der Bohrkern entspricht einem «Nadelstich» in die zu beurteilende Grundgesamtheit. Der Gutachter bzw. die Gutachterin überprüft die Annahmen zum Homogenbereich gemäss Arbeitshypothese (vgl. Kapitel 2.2, Seite 19) anhand der lithologischen und stofflichen Eigenschaften des zu beprobenden Abschnitts im Bohrkern und anhand von Vergleichen mit umgebenden Sondierungen. Die Weite der Eintrittsöffnung bzw. der Durchmesser des Kernrohrs muss mindestens 10 mm betragen oder dem Dreifachen des Grösstkorndurchmessers im zu beprobenden Material entsprechen (vgl. Kapitel 3.1.1, Seite 22) (Im mittleren Kernrohr in Abb. 14 ist dies nicht erfüllt!). Abbildung 14: Bohrstangen mit Kernmaterial aus einer Rammkernsondierung 
Vorgehen	Der gesamte Bohrkern wird zuerst organoleptisch beurteilt (vgl. Verfahren O, Seite 40) und für das Bohrprofil protokolliert und fotografiert. Aus einem Abschnitt mit konstanten lithologischen und stofflichen Eigenschaften werden Teile des Bohrkerns mit einer kleinen Schaufel oder einem Spatel als Einzelproben entnommen. Die Masse des entnommenen Kernmaterials muss der minimalen Probenmasse gemäss Kapitel 11, Seite 72 entsprechen. Bei grobkörnigem Kernmaterial ist dies bei kleinkalibrigen Bohrungen nicht immer möglich. In diesem Fall ergibt sich zwangsläufig ein höherer Probenahmefehler. Der Probenahmefehler kann aus dem Verhältnis der effektiv entnommenen Probemasse zur minimal erforderlichen Probenmasse in Abbildung 40, Seite 86 abgeschätzt werden.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Die Teile des Bohrkerns werden in einem geeigneten Probenahmegefäss (in der Regel Plastikeimer, vgl. Abbildung 6, Seite 32) gesammelt und zu einer Mischprobe vereinigt (Verfahren M1, Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Da in der Regel mit kleinkalibrigen Bohrungen nur geringe Probenmassen entnommen werden können, erübrigt sich ein Aufteilen der Probe in den meisten Fällen.
Bemerkung	Speziell zu beachten bei Proben mit leichtflüchtigen Stoffen: Die Grenzschicht Probe – Bohrer wird durch die mechanische Reibung stark erwärmt. Zudem ist die Störung des Korngefüges durch den Bohrvorgang meist unvermeidbar. Die Probenahme von Material mit leichtflüchtigen Stoffen ist daher mit diesem Verfahren nicht möglich.
Ref.	–

U5 Probenahme aus grosskalibrigen Bohrkernen

Voraussetzungen	Der Bohrkern entspricht einem «Nadelstich» in die zu beurteilende Grundgesamtheit. Der Gutachter bzw. die Gutachterin überprüft die Annahmen zum Homogenbereich gemäss Arbeitshypothese (vgl. Kapitel 2.2, Seite 19) anhand der lithologischen und stofflichen Eigenschaften des zu beprobenden Abschnitts im Bohrkern und anhand von Vergleichen mit umgebenden Sondierungen. Der Durchmesser des Kernrohrs soll dem Dreifachen des Grösstkorndurchmessers im zu beprobenden Material entsprechen (vgl. Kapitel 3.1.1, Seite 22). Abbildung 15: Bohrkisten mit grobkörnigem Kernmaterial aus einer 4½"-Kernbohrung 
Vorgehen	Der gesamte Bohrkern wird zuerst organoleptisch beurteilt (vgl. Verfahren O, Seite 40) und für das Bohrprofil protokolliert und fotografiert. Aus einem Abschnitt mit konstanten lithologischen und stofflichen Eigenschaften werden Teile des Bohrkerns mit einer kleinen Schaufel oder einem Spatel als Einzelproben entnommen. Die Masse des entnommenen Kernmaterials muss der minimalen Probenmasse gemäss Kapitel 11, Seite 72 entsprechen.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Die Teile des Bohrkerns werden als Einzelproben in einem geeigneten Probenahmegefäss (in der Regel Plastikeimer, vgl. Abbildung 6, Seite 32) gesammelt und zu einer Mischprobe vereinigt (Verfahren M1, Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Da in der Regel bei Bohrungen nur bei feinkörnigem Material eine ausreichende Probenmasse entnommen werden kann, erübrigt sich ein Aufteilen der Probe in den meisten Fällen.
Bemerkung	Speziell zu beachten bei Proben mit leichtflüchtigen Stoffen: Die Grenzsicht Probe – Bohrer wird durch die mechanische Reibung stark erwärmt. Zudem ist die Störung des Korngefüges durch den Bohrvorgang meist unvermeidbar. Leichtflüchtige Stoffe können daher bei Kernbohrungen nur in ungestörten Bohrkernen aus feinkörnigem, bindigem Material beprobt werden (Verfahren U6, Seite 46).
Ref.	–

U6 Probenahme von ungestörten Bohrkernen

Voraussetzungen	Bei Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen wird die Grenzschnitt Probe – Bohrer durch die mechanische Reibung stark erwärmt. Zudem ist die Störung des Korngefüges durch den Bohrvorgang meist unvermeidbar. Bei der Probenahme aus Bohrkernen ergeben sich daher zwangsläufig Entgasungen und – falls vorhanden – ein Wegfliessen von flüssiger Phase. Eine Veränderung des Korngefüges ist bei Rotationskernbohrung deutlich kleiner als bei Rammkernsondierungen. Die Störung ist zudem bei feinkörnigem und bindigem Untergrund deutlich kleiner als bei grobkörnigem ([30]). <i>Proben aus bindigem, feinkörnigem Material mit leichtflüchtigen Stoffen sind daher möglichst ungestört</i> • aus grosskalibrigen Kernbohrungen (z. B. Innen-Ø k 4½", Aussen-Ø k 168 mm) und • aus dem inneren Kern des Bohrguts zu entnehmen. Abbildung 16: Feinkörnige Bohrkern aus einer 4½"-Kernbohrung 
Vorgehen	Bei Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen muss die Probenahme unverzüglich nach der Ausführung der Bohrung erfolgen. Die Bohrkern dürfen nicht austrocknen. Generell soll nur das Kerninnere für die Probe verwendet werden. Lange Kontaktzeiten des Probenmaterials mit der Umgebungsluft sind zu vermeiden. • Zerteilen des Bohrkerns mit der Handschaufel, Freilegen des Inneren Teils des Bohrkerns, Entnahme von Probenmaterial aus dem Zentrum des Bohrkerns, • Abfüllen in ein luftdicht verschliessbares Probengefäss (in der Regel Konfi-Glas, vgl. Abbildung 6, Seite 32), • verzugsloser und gekühlter Transport der Proben ins Analytiklabor.
Probenmasse	Da ungestörte Bohrkern in der Regel aus feinkörnigem Material mit Korndurchmessern $d_{\max} < 0.063 \text{ mm}$ bestehen (z. B. tonige Silte, sandige und siltige Tone), kann die minimal erforderliche Probenmasse gemäss Abbildung 34, Seite 73 bzw. Abbildung 35, Seite 74 meist problemlos erreicht werden.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Teile des Bohrkerns werden als Einzelproben in einem geeigneten Probenahmegefäss (in der Regel Plastikeimer, vgl. Abbildung 6, Seite 32) gesammelt und zu einer Mischprobe vereinigt (Verfahren M1, Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Ein Aufteilen der Probe erübrigt sich in den meisten Fällen.
Bemerkung	Bei feinkörnigem Probenmaterial mit leichtflüchtigen Stoffen ermöglichen Kernentnahmen mit Probenhülse (= Linerproben, Verfahren U7, Seite 47) ebenfalls ungestörte Probenahmen. Aus grobkörnigem Kernmaterial (Abb. 15, Seite 45) ist eine ungestörte Probenahme nicht möglich.
Ref.	[30]

U7 Linerproben

Voraussetzungen	Das Verfahren eignet sich nur bei feinkörnigem Untergrundmaterial.
Vorgehen	Bei Direct-Push-Sondierungen (DP) können Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen in Kunststoff-Linern (verschliessbaren Kunststoffröhren) direkt aus dem Bohrloch entnommen werden. Es entstehen weitgehend ungestörte Proben. Verluste der leichtflüchtigen Stoffe durch Entgasung und Luftkontakt können so weitgehend minimiert werden.

Abbildung 17: Entnahme eines Kunststoff-Liners aus der Bohrstange



Abbildung 18: Feinkörnigen Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen in Kunststoff-Linern



Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe

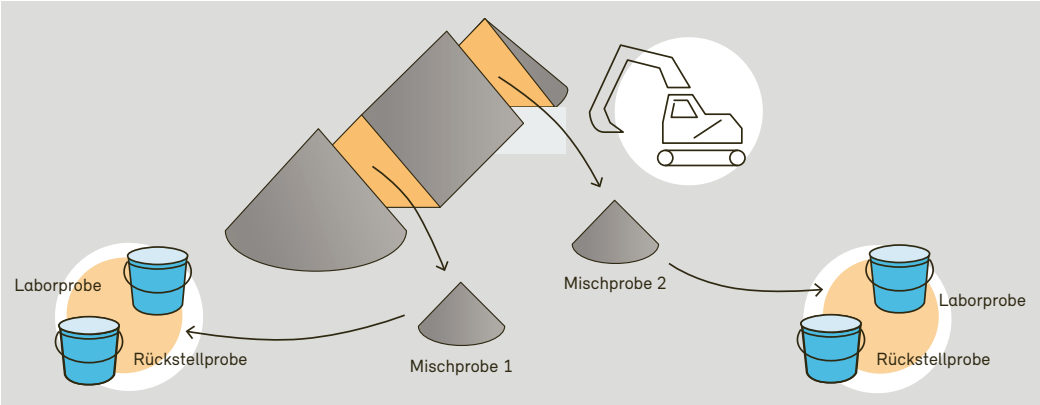
Da insbesondere chlorierte Kohlenwasserstoffe durch den Kunststoff-Liner diffundieren können, sind die Liner sofort zu kühlen und umgehend gekühlt ins Labor zu transportieren. Die entnommenen Kunststoff-Liner sollen nicht am Probenahmeort geöffnet und in Probenbehälter umgefüllt werden. Vielmehr sollen die ganzen Liner ins Labor transportiert und erst dort geöffnet werden.

Ref.

[30]

8.2.2 Probenahme aus gelagertem Material

L1 Entnahme aus Mieten/Haufen/Lagern mittels Radlader/Bagger

Grösse der Partien/ Chargen	Mieten, Haufen oder Materiallager ab ca. 100 m ³
Vorgehen	• Bis 500 m³: Freilegen von mindestens 2 Profilen mittels Bagger, • ab 500 m³: Freilegen von mindestens 4 Profilen mittels Bagger, Es wird ein kompletter Durchbruch durch die Mieten/das Lager/den Haufen gegraben. Von der Querschnittsfläche jedes Profils wird entweder • der gesamte ausgegrabene Querschnitt als Mischprobe verwendet oder • aus einer Querschnittsfläche wird eine gleichmässig dicke Schicht mit einem Volumen von 30 bis 40 l abgetragen und als Mischprobe verwendet oder • es werden gleichmässig über die Querschnittsfläche Einzelproben entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die Einzelproben werden in einem Sammelgefäss gemischt oder unmittelbar auf eine ausgebreitete Kunststoffolie gebracht und dort durchmischt (Mischprobe in Abb. 19).
Abbildung. 19: Freilegen von 2 Profilen durch einen Haufen mittels Bagger 	
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Aufteilen der Sammelprobe auf der Folie zu einer Laborprobe gemäss Verfahren A5 (Seite 63).
Bemerkung	Das Verfahren L1 eignet sich nicht für die Probenahme von Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen: Die Zerstörung des Korngerüsts und lange Kontaktzeiten mit der Umgebungsluft führen zu nicht quantifizierbaren Verlusten an leichtflüchtigen Stoffen.
Ref.	[26]

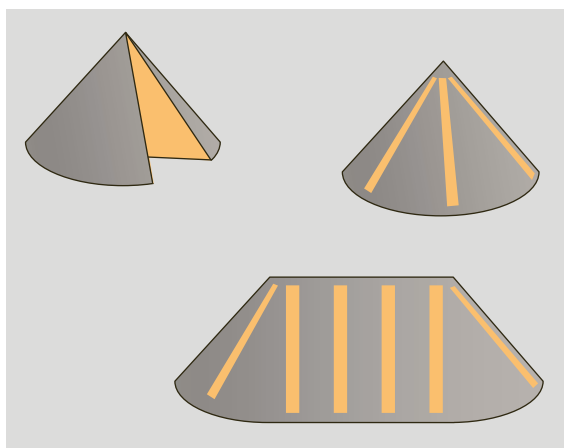
L2 Entnahme aus Haufen mit homogenem Inhalt: Schürfschlitz

Grösse der Partien/ Chargen	Haufen ab ca. 1 m ³
--------------------------------	--------------------------------

Vorgehen	<i>Dieses Vorgehen eignet sich nur, wenn angenommen werden kann, dass das Material im Kern des kegelförmigen Haufens die gleichen Eigenschaften aufweist wie das Material an der Oberfläche des Haufens. Wenn diese Annahme nicht gemacht werden kann, ist der Haufen nach dem Verfahren H1 mit der Mischbettmethode zu homogenisieren.</i> Bei kleinen kegelförmigen Haufen ($\emptyset < 5$ m) sind mindestens 3 Schürfschlitz so anzulegen, dass sie symmetrisch über den Kegelmantel verteilt werden und von der Spitze zum Kegelfuss mit gleichmässiger Tiefe verlaufen (Abb. 20 oben). Bei grösseren Haufen ($\emptyset > 5$ m) sollen die Schürfschlitz rasterartig über den gesamten Haufen verteilt werden (Abb. 20 unten) ([17]). Aus jedem Schürfschlitz wird eine Einzelprobe entnommen. Die Einzelproben werden in einem Sammelgefäss gemischt oder unmittelbar auf eine ausgebreitete Kunststoffolie gebracht und dort durchmischt.
----------	--

Abbildung 20: Anordnung von Schürfschlitz auf der Oberfläche von Haufen mit homogenem Inhalt (nach [17])

Annahme: Haufen homogen geschüttet, keine unterschiedliche Qualitäten/Eigenschaften im Innern des Haufens.



Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
--	--

Aufteilen der Sammelprobe	Aufteilen der Sammelprobe auf der Folie zu einer Laborprobe gemäss Verfahren A5 (Seite 63).
---------------------------	---

Bemerkung	Das Verfahren L2 eignet sich nicht für die Probenahme von Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen: Die Zerstörung des Korngerüsts und lange Kontaktzeiten mit der Umgebungsluft führen zu nicht quantifizierbaren Verlusten an leichtflüchtigen Stoffen.
-----------	---

Ref.	[17], [26]
------	------------

L3 Probenahme aus Mieten/Haufen/Lagern mittels Schneckenbohrer

Grösse der Partien/ Chargen	Mieten, Haufen oder Materiallager ab ca. 10 m ³
Vorgehen	• Bis 500 m³: Gewinnung von mindestens 60 – 80 l Probenmaterial, • ab 500 m³: Gewinnung von mindestens 120 – 160 l Probenmaterial. Mit dem Schneckenbohrer werden einzelne Proben aus unterschiedlichen Stellen und Tiefen im Material gewonnen. Der Durchmesser des Bohrers muss dafür einen 2- bis 3-fach grösseren Durchmesser als das grösste zu beprobende Korn aufweisen. Die Einzelproben werden in einem Sammelgefäss gemischt oder unmittelbar auf eine ausgebreitete Kunststoffolie gebracht und dort durchmischt. Bei kegel- oder trapezförmigen Haufen ist die veränderliche Volumenverteilung über die Haufenhöhe zu berücksichtigen, d. h. im unteren Teil des Haufens sind mehr Proben zu ziehen, als im oberen.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Bei Bedarf Aufteilen der Sammelprobe auf einer Folie zu einer Laborprobe gemäss Verfahren A5 (Seite 63).
Bemerkung	Das Verfahren L3 eignet sich nicht für die Probenahme von Feststoffproben mit leichtflüchtigen Stoffen: Die Zerstörung des Korngerüsts und lange Kontaktzeiten mit der Umgebungsluft führen zu nicht quantifizierbaren Verlusten an leichtflüchtigen Stoffen.
Ref.	[12]

L4 Probenahme ab LKW und aus oben offenen Lagerbehältern

Grösse der Partien/ Chargen	Beliebig grosse Chargen.
Voraussetzungen	• Eine repräsentative Probenahme aus Lagerbehältern oder ab LKW ist meist nicht möglich, da nur geringe Anteile des Materials erreicht werden können. Eine Entnahme von der Oberfläche genügt nicht. • Nur bei feinem Material ($d_{\max} < 15 \text{ mm}$) können Proben mit Stechern entnommen werden. • Bei gröberem Material ist die vollständige Entleerung des Lagerbehälters bei der Gewinnung von repräsentativen Proben unumgänglich. Bei grobkörnigem Material empfiehlt sich daher die Probenahme bei Entlade- bzw. Beladevorgängen gemäss Methode B3 (Seite 55). • Grösstkorn: $< 1/3$ des Innendurchmessers des Probenahmegeräts.
Vorgehen	Feinkörniges Material ($d_{\max} < 10 \text{ mm}$): Probe mit Probenahmegerät (Bohrstock, Probenahmestecher, Zonensammler) an zufällig gewählten Positionen entnehmen. Probe aus dem Probenahmegerät entnehmen und in das Transportgefäss geben. Probenahme solange wiederholen, bis die im Probenahmeplan festgelegte Mindestmasse erreicht wurde. Grobkörniges Material ($d_{\max} > 15 \text{ mm}$): Behälter vollständig entleeren und Material zu einem Haufwerk aufschichten. Probenahme gemäss den Methoden L1 Seite 48 bis L3 Seite 50.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Aufteilen der Probe zu einer Laborprobe mit einem Verfahren A2 bis A5 (Seite 60ff).
Bemerkung	Die Probenahme während der Beladung oder Entladung gemäss Methode B3 (Seite 55) ist in den meisten Fällen vorzuziehen.
Ref.	[4], [6], [17]

L5 Entnahme aus Probenahmestutzen am Behälter

Grösse der Partien/ Chargen	Lagersilo, Silowagen (LKW und Bahn)
Voraussetzungen	Aus Probenahmestutzen an Behältern können bei Feststoffen meistens keine repräsentativen Proben entnommen werden. Sowohl beim Beladen des Behälters wie auch bei der Materialentnahme treten Entmischungsphänomene auf. Des Weiteren kann das Material im Behälter aus mehreren Befüllungen unterschiedlicher Chargen bestehen. Die an einer einzelnen Stelle entnommene Probe hat daher zufälligen Charakter. Eine repräsentative Probe für den Gesamteinhalt kann nur durch Bildung einer Mischprobe aus mehreren Einzelproben gewonnen werden, die gemäss Methode B3 (Seite 55) bei der vollständigen Beladung oder Entladung des Behälters entnommen wurden. Eine Entnahme von repräsentativen Proben ist in der Regel nicht möglich. Die Methode eignet sich nur zur Entnahme von beurteilenden Proben.
Vorgehen	Ist die Entnahme einer beurteilenden und nicht repräsentativen Einzelprobe unumgänglich, sind folgende Hinweise zu beachten: • Das Material kann an den Probenahmestellen unter hohem Druck stehen. Das Absperrventil muss daher vorsichtig und langsam geöffnet werden. • Vor der Entnahme ist zuerst das Material zwischen Behälter und Absperrventil (Totraum) zu verwerfen. Mindestens das dreifache Totraumvolumen ist vor der Probenahme abzulassen. • Brückenbildungen können die Materialentnahme verhindern. In diesem Fall ist das Absperrventil wieder zu schliessen und das weitere Vorgehen mit den zuständigen Vorgesetzten abzustimmen. • Nach Abschluss der Probenahme ist das Absperrventil wieder vollständig zu schliessen.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Aufteilen der Probe zu einer Laborprobe mit einem Verfahren A2 bis A5 (Seite 60ff).
Ref.	[6]

8.2.3 Probenahme aus verpacktem Material**V1 Probenahme aus Big Bags**

Grösse der Partien/ Chargen	Charge mit einheitlichem Material, verteilt auf ein oder mehrere Big Bags, typisches Volumen pro Big Bag zwischen 0.3 und 2.5 m ³ .
Voraussetzungen	• Eine repräsentative Beprobung setzt feinkörniges Material voraus ($d_{\max} < 10 \text{ mm}$). • Grösstkorn $d_{\max} < \frac{1}{3}$ des Innendurchmessers des Probenahmegeräts.
Vorbereitung, Planung	Homogenität der Charge Die Chargenhomogenität ist aufgrund der organoleptischen Prüfung (Verfahren O, Seite 40) vorgängig zu bestätigen. Mindestanzahl der Proben Die Mindestanzahl der Big Bags, aus denen Proben zu entnehmen sind, richtet sich nach Kapitel 7.2.4, Seite 37, Tabelle 10, Seite 38. Probenahmegerät Die Art und der Durchmesser des Probenahmegeräts ist gemäss Kapitel 3.2.1, Seite 22 entsprechend der Materialbeschaffenheit und dem Grösstkorndurchmesser $d_{\max}$ zu wählen.
Hinweise für kohäsives, feinkörniges Material	Die Probenahme soll wenn immer möglich über die gesamte Gebindetiefe erfolgen. Als Probenahmegeräte kommen in Frage: Probenahmerohr, Probenstecher, Bohrstock, Schraubenbohrer, Erdbohrer oder Löffelbohrer. In Ausnahmefällen können auch Handschaufeln oder Spatel eingesetzt werden, die jedoch nur eine oberflächennahe Probenahme zulassen. Auf dem Probenahmeprotokoll ist ein entsprechender Vermerk anzubringen.
Hinweise für kohäsionsloses, feinkörniges Material	Bei kohäsionslosen Schüttgütern treten schon bei kurzen Transportwegen Entmischungsphänomene auf. Eine repräsentative Probenahme setzt daher zwingend eine Probe über die gesamte Gebindetiefe voraus. Als Probenahmegerät eignet sich vor allem ein Probenahmespeer, ein Zonensammler oder ein Stechheber. Falls eine oberflächennahe Probenentnahme mit Handschaufel oder Spatel vorgenommen wird, kann die Probe nur als beurteilende Probe eingesetzt werden.

V1 Probenahme aus Big Bags

Hinweise für kohäsionsloses, grobkörniges Material bzw. Bruchgut, Grobteile

Bei grobkörnigem Material ($d_{\max} > 10 \text{ mm}$) oder Bruchgut ist eine repräsentative Probenahme aus einem Big Bag nicht möglich. In diesen Fällen soll die Probenahme möglichst nur während des Auf- und Abladens durchgeführt werden (siehe Methode B3 (Seite 55)). Alternativ kann der Inhalt des Big Bag vollständig entleert werden und die Probenahme gemäss Methode L1 (Seite 48) mittels Schürfschlitzern erfolgen (vgl. auch CEN/TR 15310-2, [6]: Kap. 12.1.3).

Vorgehen	Generelles Vorgehen bei kohäsiven oder kohäsionslosen Schüttgütern • Big Bag oben öffnen • Von oben oder von der Seite werden mit dem Probenahmegerät aus dem Zentrumsbereich und aus dem Eckbereich Teilproben entnommen und in den Transportbehälter geben. Für die Entnahme einer Einzelprobe sind mindestens vier Einstiche durchzuführen (zwei Einstiche im Zentrumsbereich, zwei Einstiche im Eckbereich). Nach jedem Einstich wird das Material aus dem Probenahmegerät entnommen und in den Transportbehälter gegeben. • Gegebenenfalls sind die Einstiche gleichmässig verteilt über den Querschnitt so oft zu wiederholen, bis die im Probenahmeplan festgelegte Mindestprobenmasse erreicht wird. • Big Bag verschliessen, bei Seiteneinstichen die Entnahmestelle mit gut haftenden Verschlussiegeln schliessen.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Aufteilen der Probe zu einer Laborprobe mit einem Verfahren A2 bis A5 (Seite 60ff).
Ref.	[3], [5], [2], [6], [17]

V2 Probenahme aus Fässern

Grösse der Partien/Chargen	Charge mit einheitlichem Material verteilt auf ein oder mehrere Fässer, typisches Volumen pro Fass zwischen 50 und 250 Liter.
Voraussetzungen	• Eine repräsentative Beprobung setzt feinkörniges Material voraus ($d_{\max} < 10 \text{ mm}$). • Grösstkorn $d_{\max} < \frac{1}{3}$ des Innendurchmessers des Probenahmegeräts. • In Fässern wird ein breites Spektrum an ungefährlichen wie auch gefährlichen Materialien transportiert und gelagert. Bevor ein Fass geöffnet wird, ist dieses daher eindeutig zu identifizieren und die im Probenahmeplan festgelegte persönliche Schutzausrüstung anzulegen.
Vorbereitung, Planung	Homogenität der Charge Die Chargenhomogenität ist aufgrund der organoleptischen Prüfung (Verfahren O, Seite 40) vorgängig zu bestätigen. Mindestanzahl der Proben Die Mindestanzahl der Fässer, aus denen Proben zu entnehmen sind, richtet sich nach Kapitel 7.2.4, Seite 37, Tabelle 10, Seite 38. Probenahmegerät Die Art und der Durchmesser des Probenahmegeräts ist gemäss Kapitel 3.2.1, Seite 22 entsprechend der Materialbeschaffenheit und dem Grösstkorndurchmesser $d_{\max}$ zu wählen.
Hinweise für kohäsives, feinkörniges Material	Die Probenahme soll wenn immer möglich über die gesamte Gebindetiefe erfolgen. Als Probenahmegeräte kommen in Frage: Probenahmerohr, Probenstecher, Bohrstock, Schraubenbohrer, Erdbohrer oder Löffelbohrer. In Ausnahmefällen können auch Handschaufeln oder Spatel eingesetzt werden, die jedoch nur eine oberflächennahe Probenahme zulassen. Auf dem Probenahmeprotokoll ist ein entsprechender Vermerk anzubringen.
Hinweise für kohäsionsloses bzw. rieselfähiges Material	Bei kohäsionslosen Schüttgütern treten schon bei kurzen Transportwegen Entmischungsphänomene auf. Eine repräsentative Probenahme setzt daher eine Probe über die gesamte Gebindetiefe voraus. Als Probenahmegerät eignet sich vor allem ein Probenahmespeer, ein Zonensammler oder ein Stechheber. Falls eine oberflächennahe Probenentnahme mit Handschaufel oder Spatel vorgenommen wird, kann die Probe nur als beurteilende Probe eingesetzt werden.

V2 Probenahme aus Fässern

Hinweise für kohäsionslo-
ses, grobkörniges Material
bzw. Bruchgut, Grobteile

Bei grobkörnigem Material ($d_{max} > 10\text{ mm}$) oder Bruchgut ist eine repräsentative Probenahme aus einem Fass nicht möglich.

In diesen Fällen soll die Probenahme möglichst nur während des Auf- und Abladens durchgeführt werden (siehe Methode B3 (Seite 55)). Ist eine Probenahme aus einem Fass unumgänglich, können in der Regel nur oberflächennahe Proben (z. B. mit Handentnahme oder Bohren) ohne Anspruch auf Repräsentativität entnommen werden.

Vorgehen

Generelles Vorgehen bei der Probenahme – kohäsive oder kohäsionslose Schüttgüter:

- Fass vorsichtig öffnen, es kann ein Druckausgleich stattfinden,
- Proben werden mit Probenahmegerät aus dem Zentrumsbereich und aus dem Randbereich entnommen. Das Probenmaterial wird aus dem Probenahmegerät entnommen und in den Transportbehälter gegeben,
- für die Entnahme einer Einzelprobe sind mindestens vier Einstiche durchzuführen. Gegebenenfalls sind die Einstiche gleichmässig verteilt über den Querschnitt so oft zu wiederholen, bis die Mindestprobenmasse erreicht wird,
- Fass verschliessen.

Abbildung 21: Probenahme aus einem Fass: Beispiel mit vier Einstichstellen



Weiterbehandlung: Her-
stellen der Sammelprobe

Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).

Aufteilen der Sammelprobe

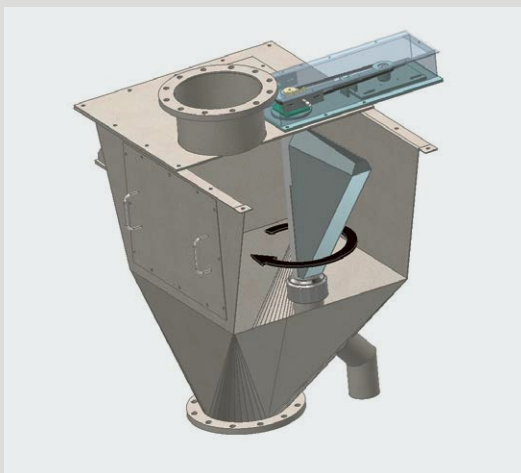
Aufteilen der Probe zu einer Laborprobe mit einem Verfahren A2 bis A5 (Seite 60ff).

Ref.

[3], [5], [2], [6], [17]

8.2.4 Probenahme aus bewegtem Material

B1 Entnahme aus fallenden Materialströmen

Grösse der Partien/ Chargen	Beliebige Chargengrösse
Voraussetzungen	Geeignete Zugriffspunkte auf den frei fallenden Materialstrom. Bei manueller Entnahme ist auf die Personensicherheit besonders zu achten.
Vorgehen	Der Materialstrom wird mit einem Sammelgefäss entweder über die ganze Breite durchfahren oder für eine bestimmte Zeit vollständig aufgefangen. Bei der Probenahme muss das Sammelgefäss den gesamten Produktstrom erfassen und diesem einen repräsentativen Querschnitt entnehmen. Das Sammelgefäss darf während der Probenahme nicht überlaufen. Die punktuelle Probenahme aus dem fallenden Strom genügt nicht für eine repräsentative Probenahme. Abhängig von Breite und Tiefe des Materialstroms sind unterschiedliche Techniken zweckmässig (vgl. CEN TR 15310-2 [6]): Schmaler und wenig tiefer Materialstrom • Probenahmeschaufel in gezielter Richtung in den Materialstrom halten bis die im Probenahmeplan definierte Materialmenge erreicht ist. • Probenahmeschaufel in gleicher Richtung aus dem Materialstrom entfernen. • Probe in das Sammelgefäss geben. Breiter und wenig tiefer Materialstrom • Probenbehälter an einem Ende in den Materialstrom bewegen und mit konstanter Geschwindigkeit durch den Materialstrom in gleicher Richtung hindurch bewegen. Breiter und tiefer Materialstrom • Probenahme mit zwei Durchgängen gemäss «Schmaler und wenig tiefer Materialstrom», dabei die Richtung zwischen den Durchgängen um 90° verändern. Falls in einem Durchgang des Sammlers nicht genügend Material für eine Einzelprobe erfasst wird, ist sofort die Probenahme so oft zu wiederholen, bis die Mindestmasse der Probe erreicht wurde. Querschnittsabsammler bei Rohrleitungen Die repräsentative Probenahme erfolgt idealerweise mit einem automatischen Querschnittsabsammler: Verfahren A6, Seite 63. Detaillierte Hinweise finden sich im Methodenband ZAR ([40], Kapitel 3.1). Abbildung 22: Beispiel eines Fallstrom-Probenehmers (www.vock-gmbh.de) 
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Aufteilen der Sammelprobe auf einer Folie zu einer Laborprobe gemäss Verfahren A5 (Seite 63) oder Aufteilen mit Rotationsteilern oder anderen automatischen Teilern (Verfahren A6, Seite 63).
Ref.	[6], [17], [40]

B2 Entnahme von Transportbändern

Grösse der Partien/ Chargen	Ausgetragene Materialströme ab ca. 10 m ³
Voraussetzungen	Das Material kann über die Bandbreite entmischt sein. Daher muss die gesamte Bandbreite für die Probenahme zugänglich sein.
Vorgehen	Da das Material bei der Aufgabe entmischt werden kann, sind mindestens folgende Probemengen zu entnehmen, auch wenn die minimale Probenmasse gemäss Kapitel 11, Seite 72ff gering sein sollte: • bis 500 m³: Gewinnung von mindestens 60 – 80 l Probenmaterial, • ab 500 m³: Gewinnung von mindestens 120 – 160 l Probenmaterial. Mit einem geeigneten Werkzeug sind bei bewegten Bändern in unterschiedlichen Zeitabständen und bei stehenden Bändern an verschiedenen Stellen <i>gesamte</i> Querschnitte vom Band zu bergen. Die Bergung eines gesamten Bandquerschnittes stellt sicher, dass Material, welches sich beim Abwerfen auf das Band entmischt, vollständig beprobt wird. Die einzelnen Querschnitte werden in einem Sammelgefäss gemischt oder unmittelbar auf eine ausgebreitete Kunststoffolie gebracht und dort durchmischt.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Aufteilen der Sammelprobe auf der Folie zu einer Laborprobe gemäss Verfahren A5 (Seite 63) oder Aufteilen mit Rotationsteilern oder anderen automatischen Teilern (Verfahren A6, Seite 63).
Bemerkung	Die Entnahme an der Abwurfstelle oder an einer Übergabestelle zwischen zwei Bändern ist oft technisch einfacher als die Entnahme vom Band. Die Einzelproben werden dann aus dem fallendem Materialstrom gemäss Methode B1 (Seite 54) entnommen.
Ref.	[1], [6], [17], [40]

B3 Probenahme bei Verlade- und Entladevorgängen

Grösse der Partien/ Chargen	Beliebig grosse Chargen
Voraussetzungen	• Materialstrom ist zugänglich. • Personensicherheit ist gewährleistet.
Vorgehen	Die Probenahme bei Verlade- und Entladevorgängen ist in den meisten Fällen der Probenahme aus Behältern und LKW vorzuziehen. Die Entnahme von Proben erfolgt in regelmässigen Abständen während des Entlade bzw. Beladevorgangs. Die Anzahl der Proben bzw. der zeitliche Abstand der Proben wird während des Planungsprozesses festgelegt. Folgende Methoden können beispielsweise zur Probenahme eingesetzt werden: • Probenahme aus fallenden Materialströmen: Methode B1, Seite 54, • Probenahme von Transportbändern: Methode B2, Seite 55, • Materialtransport mit Greifern: In regelmässigen Abständen eine ganze Greifermenge oder Teilmengen einer Greifermenge entnehmen.
Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe	Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).
Aufteilen der Sammelprobe	Aufteilen der Sammelprobe auf einer Folie zu einer Laborprobe gemäss Verfahren A5 (Seite 63).
Ref.	[6]

B4 Probenahme von Gleisaushub

Bemerkung	Die Probenahme von Gleisaushub wird in der Vollzugshilfe Gleisaushubrichtlinie [25] beschrieben.
Ref.	[25]

8.3 Methoden zur Probenvorbehandlung

8.3.1 Herstellen einer Mischprobe

M1 Herstellen einer Mischprobe	
Grösse der Partien/ Chargen	Beliebig grosse Chargen
Ziel, Zweck	Vereinigen von mehreren Einzelproben · zu einer Feldprobe, um die Heterogenität der Charge auszugleichen bzw. um eine repräsentative Probe zu erhalten, · zu einer Laborprobe, um die die minimal erforderliche Probenmasse gemäss Kapitel 11, Seite 72ff zu erreichen.
Anzahl Einzelproben	Grundsatz: Je grösser die Anzahl Einzelproben, desto besser ist die Reproduzierbarkeit.
Vorgehen zur Vereinigung von Teilproben mit kleiner Masse	Kerne aus den Sondierungen (Bohrstock, Bohrung) oder Einzelproben aus Verpackungen werden in einem geeigneten Probenahmegefäss (in der Regel Plastikeimer, vgl. Abbildung 6, Seite 32) gesammelt und zu einer Mischprobe vereinigt.
Vorgehen zur Vereinigung von Teilproben mit grosser Masse	Material auf einer Folie ausbreiten. Klumpen getrennt vom übrigen Material zerdrücken und anschliessend wieder untermischen. Die Mischung erfolgt entweder durch wechselseitiges Anheben der Folie an den Ecken, so dass das Material jeweils zur gegenüberliegenden Ecke rollt und sich dabei mischt, oder durch Mischung mit der Schaufel. Bei bereits sehr homogenem Material genügt in der Regel zweimaliges Mischen. Bei inhomogenem Material ist der Vorgang mehrmals zu wiederholen, bis nach Augenschein eine homogene Sammelprobe vorliegt.
Weiterbehandlung: Aufteilen der Mischprobe	Falls eine Mischprobe hergestellt worden ist, um die Heterogenität auszugleichen, kann es erforderlich sein, die Mischprobe zu einer Laborprobe zu reduzieren: Verfahren A1 bis A5 (Seite 59ff).
Bemerkung	Das Vorgehen zur Herstellung einer Mischprobe kann nicht für jeden Einzelfall vorgegeben werden. Es ist auf Grund von Plausibilitätsüberlegungen in Bezug auf die Belastungshypothese zu definieren ([20])
Ref.	[20], [28]

8.3.2 Homogenisierung des Probenmaterials

H1 Mischbettmethode	
Grösse der Partien/ Chargen	Haufen ab ca. 1 m ³
Voraussetzung	<i>Wenn angenommen werden muss, dass das Material im Kern des kegelförmigen Haufens andere Eigenschaften aufweist als das Material an der Oberfläche des Haufens, ist die Beprobung mit Schürfschlitz an der Oberfläche des Haufens gemäss Methode L2 nicht zulässig. Dies trifft regelmässig beim Aushub von schwermetallhaltigem Kugelfangmaterial zu, wenn der Aushub im Zentrum des Kugelfangs beginnt und nach aussen, d. h. gegen weniger belastete Bereiche weiter geführt wird. Eine Möglichkeit, Proben aus einem Haufen zu entnehmen, welche sowohl den Kern wie auch die Oberfläche des Haufens repräsentieren, bietet die hier beschriebene Mischbettmethode.</i>

H1 Mischbettmethode**Vorgehen**

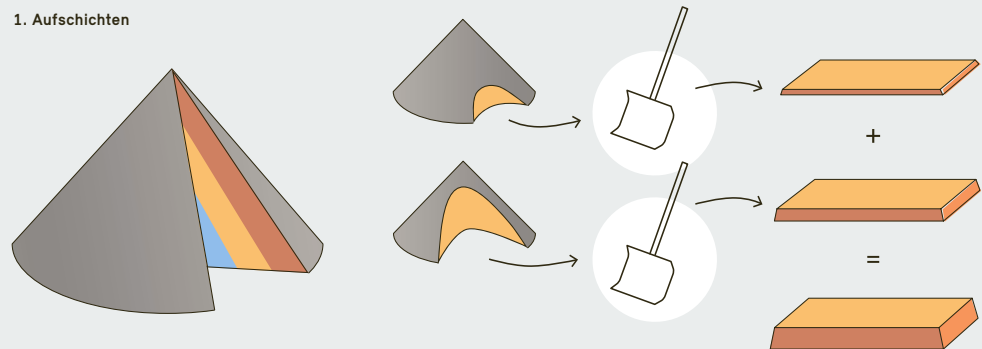
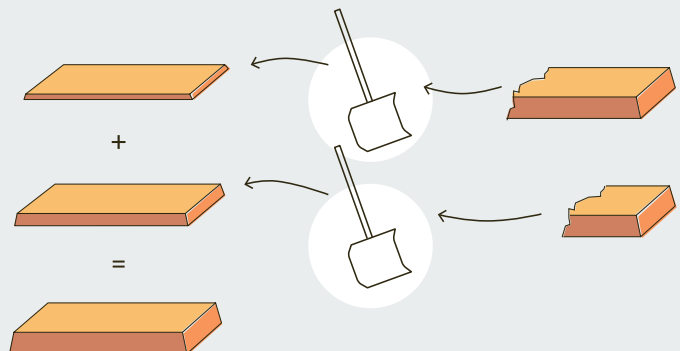
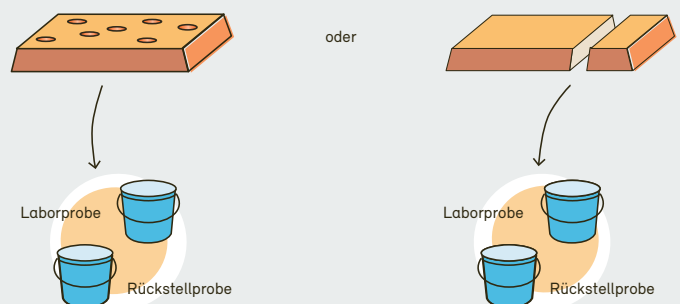
Bei schlechtem Durchmischungszustand oder bei einer heterogenen Schüttung des Haufens wird das Material in einem ersten Schritt durch Aufbau eines «Mischbetts» durchmischt. Das Material des Haufens wird Schaufel für Schaufel auf eine glatte Unterlage ausgebreitet. Jede Schaufel wird breit verteilt. Der Anfangs- und Endpunkt des Streuens der einzelnen Portionen soll jeweils verschieden sein. Aus dem gesamten Material des Haufens wird ein rechteckiges Mischbett aufgebaut. Die Durchmischung wird weiter verbessert, indem das erste Mischbett von einer Seite her angegraben und in der gleichen Art zu einem zweiten Mischbett aufgeschichtet wird.

Aus diesem zweiten Mischbett werden Einzelproben entnommen. Dazu werden an mindestens fünf Stellen senkrechte Löcher im Mischbett ausgehoben (Abb. 23 unten links). Es ist wichtig, dass alle Löcher bis zum Grund des Mischbetts reichen. Wenn das Material nachrutscht, müssen Rohrstücke oder eckige Rahmen ins Mischbett gedrückt werden, um die Einzelproben scharf vom Rest abzugrenzen ([40]).

Alternativ können ein oder mehrere komplette Durchbrüche des Mischbetts erstellt werden (Abb. 23 unten rechts). Von der Querschnittsfläche wird eine gleichmässig dicke Schicht mit einem Volumen von 30 bis 40 l abgetragen.

Abbildung 23: Homogenisierung mit der Mischbettmethode (nach [40])

Annahme: Haufen homogen geschüttet, unterschiedliche Qualitäten/Eigenschaften im Innern des Haufens sind möglich.

1. Aufschichten**2. Aufschichten****3. Probenahme**

H1 Mischbettmethode

Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe

Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).

Aufteilen der Sammelprobe

Bei Bedarf Aufteilen der Sammelprobe auf der Folie zu einer Laborprobe gemäss Verfahren A5 (Seite 63).

Bemerkung

Aus dem Mischbett werden die Laborprobe und die Rückstellprobe separat entnommen.

Das Verfahren H1 eignet sich nicht für die Beprobung von Feststoffen mit leichtflüchtigen Stoffen: Die Zerstörung des Korngerüsts und lange Kontaktzeiten mit der Umgebungsluft führen zu nicht quantifizierbaren Verlusten an leichtflüchtigen Stoffen.

Das Mischbettverfahren ist sehr aufwändig und bedingt einen grossen Arbeits- und/oder Maschineneinsatz.

Ref.

[17], [26]

8.3.3 Korngrößenreduktion (Sieben)**S1 Absieben im Feld/auf der Baustelle**

Vorbemerkungen

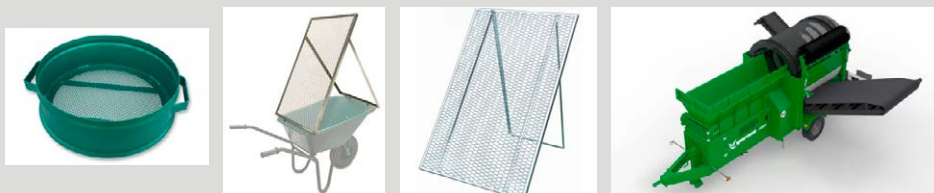
- Das Verfahren eignet sich nur bei rieselfähigem Material.
- Das Verfahren ist nur dann möglich, wenn die zu erwartende Schadstoffbelastung nicht im Bereich des massgebenden Grenzwerts, sondern deutlich darüber oder darunter liegt.
- Bei der Probenahme von Bodenproben nach VBBo erfolgen die Schritte der Probenvorbehandlung zur Reduktion der Probe (Absieben des Grobkorns) nach dem Handbuch [28].

Grösse der Partien/
ChargenHaufen ab ca. 1 m³

Vorgehen

Bei grobkörnigem Probenmaterial mit einer partikulären Kontamination ergeben sich ab $d_{\max} \approx 32$ mm Probenmassen, deren Aufbereitung im Labor zu aufwändig ist (vgl. Abbildung 34, Seite 73). Eine repräsentative Beprobung von grobkörnigem Material ist daher nicht möglich. Falls solches Probenmaterial zu untersuchen ist, kann das Grobkorn durch Absieben vom Feinkorn getrennt werden. Das Verfahren kann auch bei kleineren Korndurchmessern sinnvoll sein.

Je nach Aufgabenstellung und Materialmenge können im Feld oder auf der Baustelle verschiedene Siebe zum Abtrennen des Grobkorns eingesetzt werden:

Abbildung 24: Beispiele für Siebe zum Abtrennen des Grobkorns: Schüttelsieb, Durchwurfsieb, Trommelsieb

Die beiden Kornfraktionen sind separat zu behandeln.

Siebdurchgang,
Feinfraktion

Aus dem Feinanteil wird eine Laborprobe mit der erforderlichen Probenmasse gemäss Abbildung 34, Seite 73 entnommen und als Laborprobe gemessen.

Siebrückstand,
Grobfraktion

Ein Teil der Grobfraktion kann semiquantitativ oder orientierend gemessen werden (orientierende Probe). Bei Material mit groben Betonstücken oder bei grobem Kies ist die Messung des Grobanteils hingegen nicht sinnvoll. Nur wenn davon ausgegangen werden kann, dass die abgesiebte Grobfraktion als unbelastet gilt, kann mit dem Massenanteil der Grobfraktion der Gesamtgehalt des Materials berechnet werden.

Weiterbehandlung: Herstellen der Sammelprobe

Vereinigen von Teilproben zu einer Sammelprobe gemäss Verfahren M1 (Seite 56).

Aufteilen der Sammelprobe

Aufteilen der Sammelprobe auf einer Folie zu einer Laborprobe gemäss Verfahren A5 (Seite 63).

S1 Absieben im Feld/auf der Baustelle

Bemerkung	Die Überlegungen des Probennehmers, weshalb welche Kornfraktion abgesiebt und gesondert behandelt worden ist, sind im Probenahmeprotokoll oder in einem Bericht zur Probenahme detailliert zu beschreiben. Ebenso sind das Vorgehen beim Absieben, die eingesetzten Geräte und die Massenanteile der Grob- und der Feinfraktion zu dokumentieren. Das Vorgehen bedingt grössere Unsicherheiten, welche bei der Beurteilung der gesamten Unsicherheit der Probenahme zu berücksichtigen sind.
-----------	---

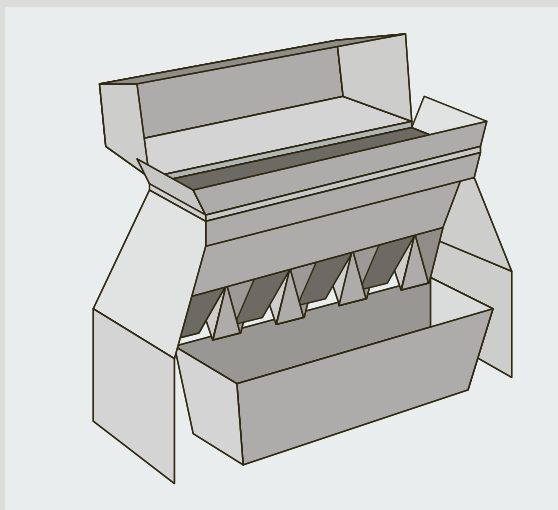
Ref.	–
------	---

8.3.4 Aufteilen einer Probe**A1 Aufteilen mit Riffelteiler**

Grösse der Partien/ Chargen	Geräte im Labormassstab: einige kg, Grossgeräte für Baustelleneinsatz: einige m ³ .
--------------------------------	--

Voraussetzungen	Rieselfähiges Material
-----------------	------------------------

Geräte	Die Wahl des geeigneten Geräts richtet sich nach der Korngrösse des Materials. Zur Teilung oder Reduktion von Material mit Korndurchmesser < 32 mm können Probeteiler, sog. Riffelteiler, im Labormassstab verwendet werden. Einige Tiefbauunternehmen verfügen über Grossgeräte auf Anhängern, welche sich für die Teilung oder Reduktion von Probenmaterial auf der Baustelle eignen. Die Zahl der Kanäle soll gerade sein und mindestens acht betragen. Die Breite der Kanäle soll mindestens das Dreifache des Durchmessers des Grösstkorns betragen.
--------	--

Abbildung 25: Riffelteiler

Vorgehen	Das Probenmaterial soll dem Teiler mit dem zugehörigen Aufgabefäss oder einer breiten Schaufel aufgegeben werden. Das Aufgabefäss oder die Schaufel soll genau über die volle Breite des Teilers, also über alle Kanäle reichen. Das Material soll nicht aus einem Kübel direkt in den Teiler geschüttet oder mit einer Schaufel über die Kanäle «verteilt» werden. Das Material soll möglichst senkrecht in die Kanäle fallen. Eine allfällige Entmischung des Materials beim Befüllen des Aufgabefässes ist nicht von Relevanz.
----------	---

Bemerkung	Der Teiler muss nach jeder Probenteilung gereinigt werden.
Ref.	[19], [40]

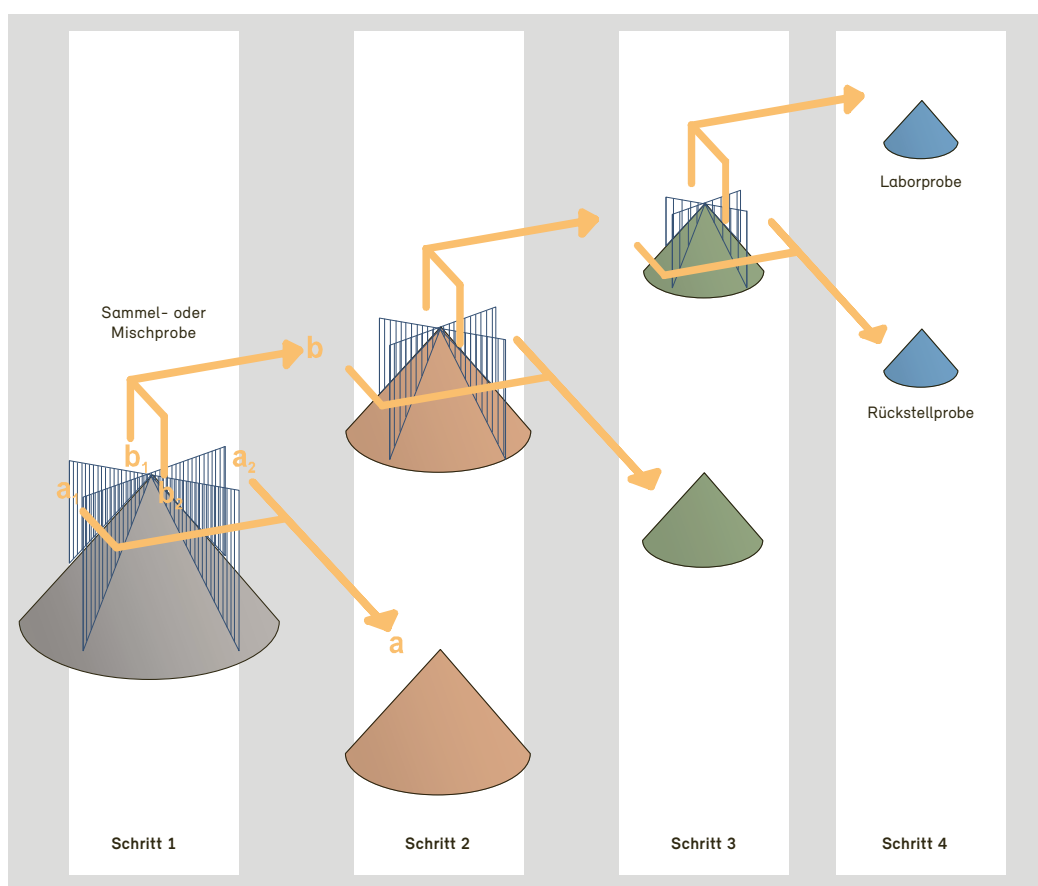
A2 Aufteilen durch inkrementierendes Schaufeln

Grösse der Partien/ Chargen	Aus praktischen Gründen nur bei kleinen Sammelproben oder Chargen bis ca. 1 m ³ .
Voraussetzungen	Diese Teilungsmethode wird dann eingesetzt, wenn das Material für Riffelteiler (Verfahren A1, Seite 59) oder Rotationsteiler (Verfahren A6, Seite 63) ungeeignet ist, beispielsweise bei feuchtem, nicht rieselfähigem Material, oder wenn kein Teiler der erforderlichen Grösse zur Verfügung steht.
Vorgehen	Fraktionierendes Schaufeln ist ein Verfahren zum Aufteilen einer Probe, indem die Misch- bzw. Sammelprobe in eine Anzahl von Teilproben etwa gleicher Menge (Masse, Volumen) aufgeteilt wird. Von diesen Proben wird eine Probe als Laborprobe zurückbehalten. Zuerst wird die notwendige Masse der Laborprobe und damit die Anzahl der Teilproben, in welche die grosse Sammelprobe aufzuteilen ist, definiert. Danach wird der grossen Sammelprobe durch Schaufeln Material entnommen und reihum jeder Teilprobe hinzugefügt, bis die gesamte Materialmenge der Sammelprobe oder Charge aufgebraucht ist. Es wird eine Schaufel benutzt, die so gross ist, dass auf jede Teilprobe mindestens 25 Schaufeln entfallen. Beim Schaufeln darf keine Rücksicht auf sichtbare Heterogenitäten oder Variabilitäten im Material genommen werden. Alle Schaufelportionen sollen etwa gleich gross sein. Es soll nicht versucht werden, vermeintliche Ungleichverteilungen «auszugleichen». Nachdem das Material in gleich grosse Portionen aufgeteilt ist, sollte jede Teilprobe die notwendige Masse der Endprobe enthalten. Von diesen Teilproben wird eine als Laborprobe ausgewählt. Die restlichen Teilproben können als Rückstellproben verwendet oder verworfen werden.
Bemerkung	Nach der Teilung soll das gesamte Material der letzten Teilmenge vollständig als Laborprobe verwendet werden. Rückstellproben sind aus dem verworfenen Materialanteil zu entnehmen.
Ref.	[17], [40]

A3 Aufteilen durch Vierteln mittels Probenkreuz**Grösse der Partien/
Chargen**Aus praktischen Gründen nur bei kleinen Sammelproben oder Chargen bis ca. 1 m³.**Vorgehen**

Die grosse Sammelprobe wird auf einer geeigneten Arbeitsunterlage (z. B. Kunststoffolie) zu einem kegelförmigen Haufen aufgeschüttet und gründlich durchmischt. Danach wird der Haufen durch Vierteln mittels Probenkreuz aufgeteilt. Die jeweils gegenüberliegenden Teilmengen werden verworfen. Der Vorgang wird so lange wiederholt, bis die notwendige Masse der Laborprobe erreicht wird (Abb. 26).

Bei der Teilung von Materialien unterschiedlicher Korn- bzw. Komponentengrössen ist zu beachten, dass leicht Entmischungen auftreten können, die zu fehlerhaften Teilproben führen.

Abbildung 26: Aufteilen einer Sammel- oder Mischprobe nach der Viertel-Methode (nach [17])**Bemerkung**

Nach der Teilung soll das gesamte Material der letzten Teilmenge vollständig als Laborprobe verwendet werden. Rückstellproben sind aus dem verworfenen Materialanteil zu entnehmen.

Die Viertel-Methode ist sehr aufwändig und wird daher in der Praxis nur selten angewendet. Als weniger aufwändige Alternative wird häufig die Methode des alternierenden Schaufelns angewendet: Verfahren A4, Seite 62.

Ref.

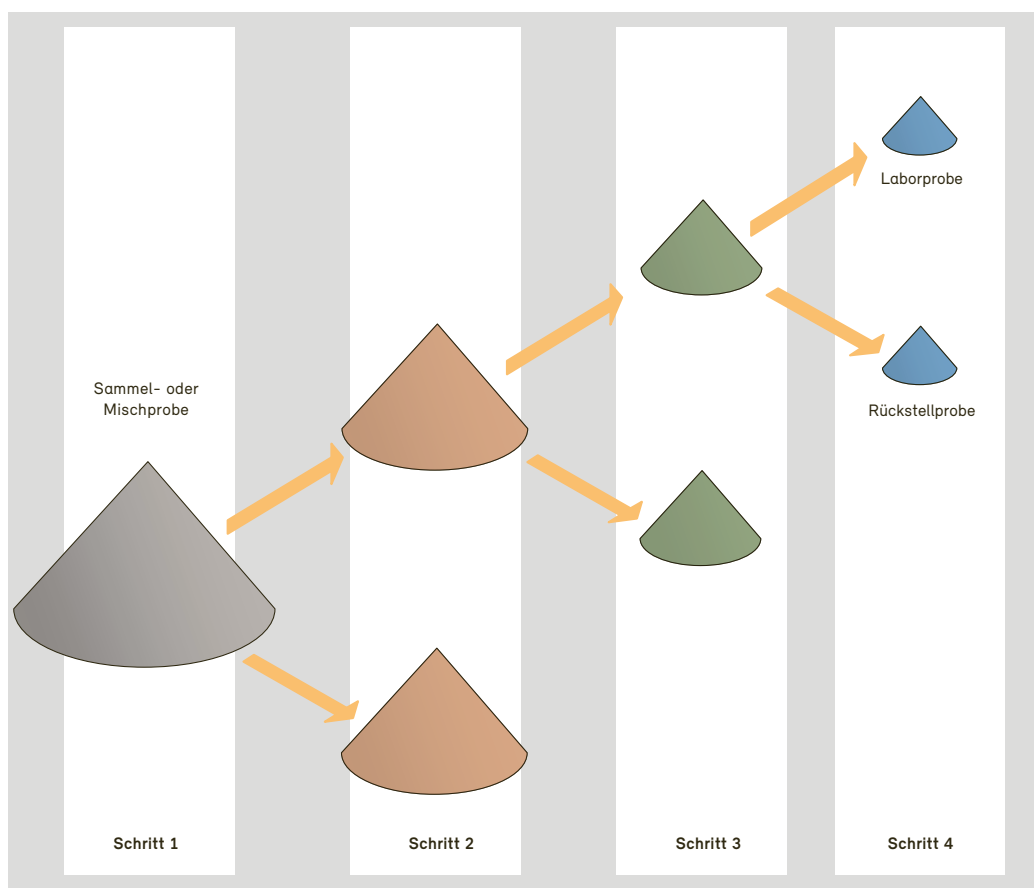
[17]

A4 Aufteilen mit alternierendem Schaufeln

Grösse der Partien/ Chargen	Aus praktischen Gründen nur bei kleinen Sammelproben oder Chargen bis ca. 1 m ³
--------------------------------	--

Vorgehen	Das alternierende Schaufeln ist dem Teilen durch Vierteln mit Probenkreuz vorzuziehen, insbesondere wenn das Material zu Entmischungen neigt oder grobe Teile enthält, die das Vierteln erschweren. Die grosse Sammelprobe wird komplett umgeschauelt und dabei in zwei oder mehrere gleich grosse Teilmengen aufgeteilt. Von der zu teilenden Probe wird abwechselnd eine Schaufel der einen, dann der anderen Teilmenge zugeordnet. Alle Schaufelportionen sind etwa gleich gross. Beim Aufteilen auf mehr als zwei Teilmengen erfolgt die Zuordnung reihum. Die Teilmenge, die für den nächsten Arbeitsschritt oder am Schluss als Laborprobe weiterverwendet wird, muss nach dem Umschaukeln zufällig ausgewählt werden. Der Vorgang wird wiederholt, bis die erforderliche Masse der Laborprobe erreicht wird.
----------	--

Abbildung 27: Vereinfachtes Vorgehen zum Aufteilen einer Sammel- oder Mischprobe nach der Halbierungs-Methode



Bemerkung	Nach der Teilung soll das gesamte Material der letzten Teilmenge vollständig als Laborprobe verwendet werden. Rückstellproben sind aus dem verworfenen Materialanteil zu entnehmen.
-----------	---

Ref.	[10]
------	------

A5 Aufteilen auf einer Folie

Grösse der Partien/ Chargen	Aus praktischen Gründen nur bei kleinen Sammelproben oder Chargen bis ca. 1 m ³ .
Vorgehen	Zum Aufteilen wird die auf der Folie ausgebreitete Sammelprobe durch Ziehen von Diagonalen in 4 Sektoren geteilt. Jeweils ein Sektor (ca. 25 %) der Sammelprobe wird verworfen und es erfolgt erneut eine Mischung des übrig gebliebenen Materials. In gleicher Weise wird so lange weiter verfahren, bis die zur Untersuchung erforderliche Masse der Laborprobe übrig bleibt. Bei grossen Sammelproben ist es auch möglich, jeweils die zwei diagonal gegenüberliegenden Viertel (ca. 50 %) zu werfen, erneut zu mischen und in gleicher Weise fortzufahren, bis die erforderliche Masse als Laborprobe erreicht ist. Der Teilungsvorgang soll mindestens zweimal durchgeführt werden.
Bemerkung	Nach der Teilung soll das gesamte Material als Laborprobe verwendet werden. Rückstellproben sind aus dem verworfenen Materialanteil zu entnehmen.
Ref.	–

A6 Aufteilen mit Rotationsteilern oder anderen automatischen Teilern

Grösse der Partien/ Chargen	Ausgetragene Materialströme ab ca. 10 m ³
Voraussetzungen	Alle Anforderungen an die Probenahme aus Materialströmen (Verfahren B1, Seite 54) gelten auch beim Arbeiten mit Rotationsteilern. Detaillierte Hinweise finden sich im Methodenband ZAR ([40], Kapitel 3.1). Rotationsteiler können nur verwendet werden, wenn das Material gut rieselfähig ist. Sie sind ungeeignet für Materialien, die Drähte oder sonstige «sperrige Körner» enthalten.
Vorgehen	Rotationsteiler funktionieren nach dem Prinzip der Probenahme aus dem Materialstrom, wie im Verfahren B1 (Seite 54) beschrieben. Bei jeder Umdrehung wird automatisch ein Inkrement für die Probe erzeugt.
Ref.	[40]

Teil III Grundlagen der Probenahme

Nachfolgend werden grundsätzliche Überlegungen zu Feststoffproben diskutiert, welche für alle Arten der Probenahme zu beachten sind. Es sind dies:

- *Eigenschaften der zu untersuchenden Stoffe, welche das Vorgehen bei der Probenahme beeinflussen können,*
- *die Form und die Verteilung der zu untersuchenden Stoffe im umgebenden Matrixmaterial,*
- *die Repräsentativität der entnommenen Probe in Bezug auf die gesamte zu beurteilende Partie oder Charge und daraus abgeleitet Anforderungen an die minimale Probenmasse bzw. an die minimale Anzahl an Proben.*

9 Homogenität und Heterogenität

Eine wichtige Kenngrösse bei der Beurteilung eines Abfalls ist dessen Homogenität bzw. Heterogenität (Begriffsdefinitionen homogen, heterogen: vgl. Begriffe, Seite 9ff). Gemäss IUPAC [31] versteht man unter diesen beiden Begriffen das Ausmass, in dem eine Eigenschaft oder ein charakteristisches Merkmal gleichmässig in der vorliegenden Menge eines Materials verteilt ist.

9.1 Betrachtung im Massstab der Partikelgrösse

Ein fester Abfall besteht aus vielen Partikeln. Jedes einzelne Partikel kann eine Menge eines charakteristischen Merkmals (z. B. eines Schwermetalls oder eines organischen Schadstoffs) tragen. Diese an sich triviale Beobachtung hat eine grosse Bedeutung für die Probenahme, wie in den folgenden Abschnitten erläutert wird.

Sind die Partikel, welche das charakteristische Merkmal (in gleicher Konzentration) tragen vollkommen gleichmässig verteilt, dann ist die Verteilung des Merkmals *homogen*. Unter dieser Voraussetzung hat bereits eine kleine Probe weitestgehend die Eigenschaften der Grundmenge und ist somit *repräsentativ*.

Sind dagegen die Partikel, welche das charakteristische Merkmal tragen, zufällig in der Grundmenge verteilt, dann hat das Material eine *heterogene* Verteilung des Merkmals. In diesem Fall muss die Probe so gross gewählt werden, dass mit einer ausreichenden Zuverlässigkeit der Durchschnitt des Merkmals in der Grundmenge auch in der Probe vorhanden ist.

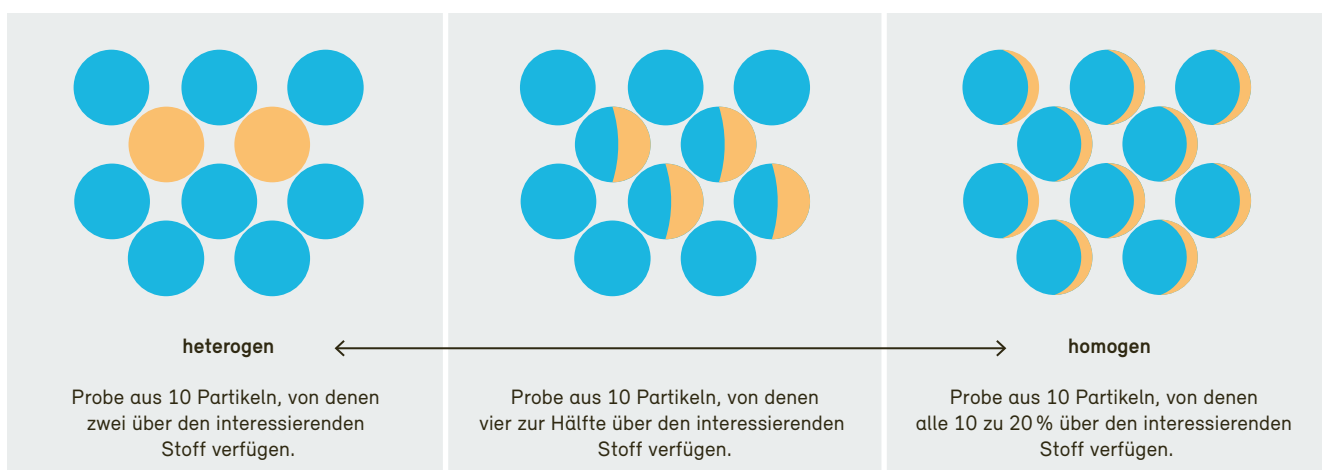
Anhand Abb. 28 wird dieser Zusammenhang verdeutlicht:

- Nimmt man als Probe ein Partikel aus der homogenen Population, repräsentiert dieses eine Partikel vollkommen die Grundmenge der 10 Partikel (Abb. 28, rechtes Bild).
- Entnimmt man jedoch als Probe ein Partikel aus der heterogenen Grundgesamtheit, wird das Analysenergebnis in 80 % der Fälle das Merkmal gar nicht und in 20 % der Fälle einen viel zu hohen Wert des Merkmals ausweisen (Abb. 28, linkes Bild).

Aus dieser einfachen Betrachtung folgt, dass als minimale zu entnehmende Masse einer Einzelprobe bei Homogenität eine kleine Probenmasse genügt, aber bei ausgeprägter Heterogenität eine ausreichend grosse Probenmasse gewählt werden muss.

Abbildung 28

Partikel mit interessierenden Eigenschaften. Die Gesamtmenge an interessierendem Stoff ist in allen drei Beispielen die Gleiche. Vgl. Anhang B in DIN EN 15002 ([13])



In der folgenden Abb. 29 wird dieser Zusammenhang anhand eines praxisnäheren Schemas verdeutlicht:

Das in Abb. 29 dargestellte Material enthält rot dargestellte Schadstoffpartikel, z.B. Strassenbelag in einer unbelasteten Matrix (weisse Körner und blassgelber Hintergrund). Die Konzentration in der Grundgesamtheit kennt man nicht.

- Das kleine Teilvolumen 1 enthält 7 rote Körner
- Das kleine Teilvolumen 2 enthält 1 rotes Korn
- Das neunmal grössere umrandete Teilvolumen enthält 27 rote Körner, was 3 roten Körnern pro kleinem Teilvolumen entspricht.

Heterogenität verursacht den grössten Anteil am Probenahmefehler. Die Probenahme muss daher so erfolgen, dass die entnommene Probe die Eigenschaften der gesamten zu beurteilenden Charge repräsentativ abbildet. Bei allen festen Abfällen gilt entsprechend dem Ausmass und dem Massstab der Heterogenität:

- Proben müssen eine ausreichende Masse aufweisen,
- Proben müssen in ausreichender Anzahl entnommen werden.

9.2 Heterogenität im Nahbereich

Die Frage ob ein Material homogen oder heterogen ist, hängt nicht zuletzt vom Betrachtungsmassstab ab. Betrachtet man einen etwas grösseren Ausschnitt aus der Grundmenge als im vorhergehenden Abschnitt, treten oft weitere Phänomene zu Tage (Organoleptische Prüfung: Erkennen von inhomogenen Bereichen: vgl. Begriffe, Seite 9ff, Kapitel 3.1.1, Seite 22).

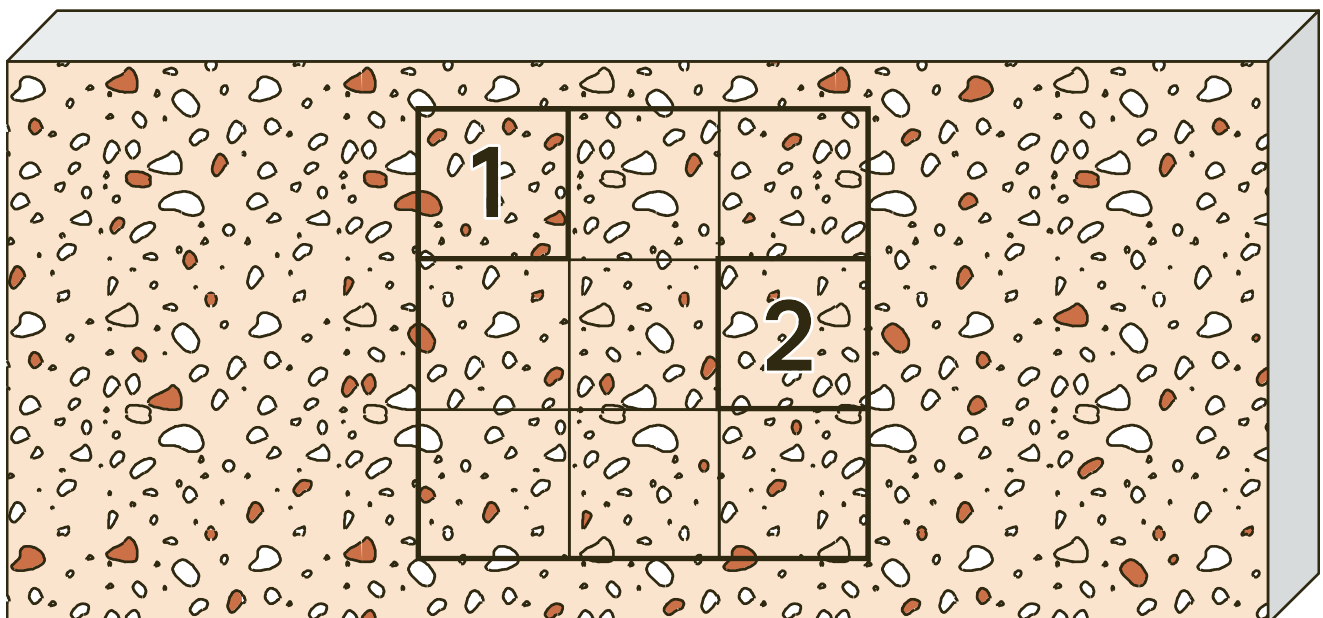
So kann Heterogenität im Nahbereich auch vorliegen, wenn Schadstoffpartikel agglomerieren (A) oder segregieren (B).

Ursache sind häufig Transportvorgänge, bei welchen es beispielsweise aufgrund von unterschiedlicher Dichte, Oberflächenbeschaffenheit, chemischen Eigenschaften oder elektrischer Ladung zu Agglomeration (A) oder Segregation (B) kommen kann.

Nimmt man aus einem Behälter mit segregiertem Material eine Probe aus dem oberflächennahen Bereich, wird deren Zusammensetzung von der Zusammensetzung einer Probe aus tieferen Schichten erheblich abweichen.

Abbildung 29

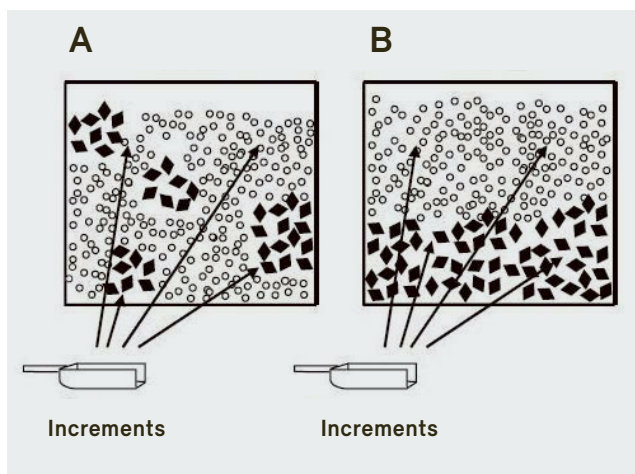
Probenvolumen in inhomogenem Material (schematisch)



Die Entnahme von mehreren Probeninkrementen bei einer Einzelprobe kann den Probenahmefehler erheblich reduzieren.

Abbildung 30

Auswirkung von Agglomeration (A) und Segregation (B) von Partikeln auf die Probenahme (aus [15])



9.3 Heterogenität im grossen Massstab

In den vorhergehenden Abschnitten wurde die zufällige Verteilung von merkmals tragenden Partikeln als Ursache für die Heterogenität behandelt. Der Massstab der Betrachtung war eher kleinräumig und reicht bis zu wenigen Metern.

Betrachtet man eine grössere Materialmenge, ist oft die folgende Fragestellung von grossem Interesse:

- kann die Materialmenge im Sinn der Abfallbewirtschaftung als homogen betrachtet werden oder ist diese in unterschiedliche Teilmengen aufzutrennen?

Massgebend bei dieser Fragestellung ist somit die Heterogenität im Massstab von mehreren Metern.

Bei Produktionsabfällen sind auch zeitliche Faktoren gemäss Kapitel 9.4, Seite 67f zu berücksichtigen.

9.3.1 Vorabklärungen bei Aushub- und Ausbruchmaterial sowie bei Bauabfällen

Aushub- und Ausbruchtätigkeiten und andere Bautätigkeiten verursachen die grössten Abfallaufkommen in der Schweiz. Die frühzeitige Abgrenzung unterschiedlich belasteter Abfälle nach den Entsorgungswegen hat daher eine grosse ökologische und ökonomische Bedeutung und entspricht den Zielsetzungen der VVEA.

Während der Heterogenität im kleinen Massstab mit einer ausreichend grossen Probenmenge oder mehreren Probeninkrementen begegnet werden kann, sind bei der Einschätzung der Heterogenität im grossen Massstab weitere gefasste Überlegungen notwendig (z. B. zusätzliche Informationsbeschaffung, historische Untersuchung usw.).

Die Abklärungen sind so auszurichten, dass nach Aufnahme der Arbeiten Teilmengen entstehen, die im abfallrechtlichen Sinn als homogene Chargen betrachtet und entsorgt werden können.

9.3.2 Charakterisierung der Grundgesamtheit und Hot Spot Beprobung

Kann aufgrund der Vorabklärungen davon ausgegangen werden, dass eine homogene Abfallmenge vorliegt und liegen keine organoleptischen Auffälligkeiten vor, können die Merkmale der Charge anhand von Proben gemäss den Ausführungen in den Kapiteln 11 bzw. 7.1 ermittelt werden (Organoleptische Prüfungen werden zum Erkennen von Kontaminationsschwerpunkten oder von ausgeprägter Heterogenität eingesetzt; vgl. Begriffe, Seite 9ff, Kapitel 3.1.1, Seite 22).

Werden jedoch auffällige Bereiche im Probenmaterial festgestellt, hat eine getrennte Beprobung der auffälligen Zone (Hot-Spot-Beprobung) und des restlichen Abfalls zu erfolgen.

9.4 Zeitliche Heterogenität

Bei der Beprobung von Abfällen aus industriellen Prozessen sind neben der räumlichen Heterogenität auch zeitliche bzw. saisonale Schwankungen bei der Planung der Probenahme zu berücksichtigen.

Ist das Ziel die Charakterisierung der Grundgesamtheit im Sinn einer repräsentativen Probenahme, müssen in regelmässigen Abständen Proben gleicher Probenmasse aus dem Prozess entnommen werden. Diese können zu einer Mischprobe vereinigt werden.

Werden grössere Haufwerke (z. B. auf Umschlagplätzen) beprobt, können die Resultate selten als repräsentativ eingestuft werden. Sie haben in der Regel einen beurteilenden Charakter.

Ähnliche saisonale und wetterabhängige Schwankungen sind bei Abfällen bekannt, die mit leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffverbindungen kontaminiert sind.

9.5 Zusammenfassung aus praktischer Sicht

Im vorliegenden Kontext gilt: Wenn Stoffe partikulär aber gleichmässig in einem Feststoff verteilt sind, kann dieses Material als homogen betrachtet werden. Daraus ergibt sich:

- **Homogen** sind im Rahmen dieser Vollzugshilfe (vgl. [15])
 - Materialien aus gleichbleibenden Industrieprozessen,
 - andere Materialien, deren Homogenität in der Praxis durch Sichtkontrolle prüfbar ist, oder die zeitlich bzw. räumlich in konstanter Zusammensetzung anfallen (Beispiele: Rückstände aus gleichbleibenden Produktionsprozessen wie Kunststoffproduktionsabfall, Metallspäne, Staub, Farb- und Lackschlamm, oder Filterstäube und andere Reaktionsprodukte aus der Rauchgasreinigung von Kehrichtverbrennungsanlagen).
- **Heterogen** sind alle anderen Materialien, darunter auch Materialien aus zeitlich variierenden Produktionsprozessen. Bei festen Abfällen ist Heterogenität der Normalfall.

Kriterien zur Unterscheidung homogen/heterogen bzw. zur Abgrenzung von Homogenbereichen können sein:

- organoleptisch: Farbe, Fremdstoffanteil, Partikelgrösse, Geruch etc.,
- sämtliche verfügbaren Informationen zur Variabilität

der zu beprobenden Feststoffe (im historischen Verlauf sich verändernde Zusammensetzung, Ablagerungsorte, Schichtungen, etc.).

Hauskehricht gilt grundsätzlich als heterogen. Eine repräsentative Beprobung von Hauskehricht ist in der Regel nicht möglich.

Abbildung 31

Auffüllmaterial mit Hauskehricht



10 Verteilung der Stoffe im Matrixmaterial

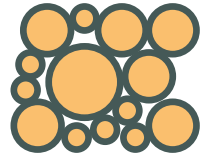
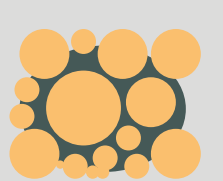
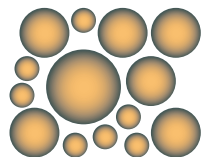
Im vorhergehenden Abschnitt wurde die Heterogenität als Mass für die gleich- oder ungleichmässige Verteilung von Stoffen im Matrixmaterial eingeführt. Dabei wurde ein einfaches Modell für partikuläre Verteilungen eingesetzt.

In der Praxis treten auch andere Schadstoffverteilungen auf. Die Kenntnis der Stoffverteilung ist für Entscheide zur minimalen Probenmasse und zum praktischen Vorgehen bei der Probenahme massgebend.

Es werden folgende Stoffverteilungen unterschieden:

Tabelle 14

Stoffverteilungen, Beispiele

	Stoffverteilung	Beispiele	Beschreibung
	partikuläre Kontamination = volumenproportional	• Aushub mit Belagsresten, Teerölpartikeln, • Kugelfangmaterial mit Geschossfragmenten, • Schlacke aus Kehrlichtverbrennung	Der interessierende Stoff liegt in partikulärer Form zwischen unbelasteten Körnern des Matrixmaterials vor.
	Oberflächenkontamination des Matrixmaterials = oberflächenproportional	• Aushub mit Heizöl, Diesel, Benzin, • belasteter Bahnschotter, kontaminiert mit PAK, aliphatischen Kohlenwasserstoffen	Der interessierende Stoff liegt adsorbiert an den Oberflächen der Körner der Matrix vor und bildet dünne Schichten über die Körner.
	Stoffe in Phase	• Aushub mit chlorierten Lösungsmitteln, • Aushub mit Heizöl, Diesel, Benzin, • Aushub mit Teeröl	Flüssige Stoffphasen bilden Tropfen, Klumpen oder zusammenhängende Bereiche zwischen den Körnern des Matrixmaterials.
	Stoffsättigung	• Material mit Perchlorethylen (Per), • Material mit Blei in oxidierter Form	Der interessierende Stoff ist in Mikroporen oder ins Kristallgitter der Körner des Matrixmaterials eingelagert oder eingebaut worden.

10.1 Partikuläre Kontamination

Beispiele: Aushub mit Belagsresten (PAK), Teerölpartikel, Geschossfragmente (metallisches Blei)

Der interessierende Stoff liegt in partikulärer Form zufällig verteilt zwischen unbelasteten Körnern der Matrix vor. Der Stoffgehalt der Partikel ist unabhängig von der Korngrösse des Matrixmaterials (= volumenproportionale Stoffverteilung). Die die interessierende Stoffe enthaltende Partikelfraktion ist zufällig im Matrixmaterial verteilt.

Je geringer der Anteil, der die interessierende Stoffe enthaltende Partikelfraktion ist, desto grösser ist die Heterogenität im Nahbereich.

Die minimal erforderliche Probenmasse ist daher umgekehrt proportional zum Massenanteil der den Stoff enthaltenden Partikelfraktion.

10.2 Oberflächenkontamination des Matrixmaterials

Beispiele: Aushub mit Heizöl, Diesel, Benzin; belasteter Bahnschotter

Immissionen von Flüssigkeiten oder Gasen führen in der Regel zu Oberflächenkontaminationen des interessierenden Stoffs im Matrixmaterial.

Der Stoff liegt adsorbiert an den Oberflächen der Körner der Matrix vor und bildet dünne Schichten. Die Körner selbst sind in ihrem Innern nicht kontaminiert. Der Stoffgehalt ist abhängig von der spezifischen Oberfläche des Matrixmaterials (= oberflächenproportionale Stoffverteilung). Feinkörniges Material (z. B. Feinsand, Silt) weist pro Volumeneinheit höhere Stoffgehalte auf als grobkörniges Material (z. B. Kies).

Materialien mit Oberflächenkontamination können als fast homogen betrachtet werden. Die Probemasse muss so gross gewählt werden, dass das *gesamte Korngrössenspektrum* repräsentativ abgebildet wird.

10.3 Stoffe in Phase

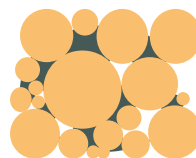
Flüssige Stoffphasen bilden Tropfen, Klumpen oder zusammenhängende Bereiche zwischen den Körnern des Untergrundmaterials. Es wird unterschieden zwischen Stoffen mit einem spezifischen Gewicht > 1 (DNAPL) und Stoffen mit einem spezifischen Gewicht < 1 (LNAPL).

Beispiele:

DNAPL wie Perchlorethylen (Per), Teeröl;

LNAPL wie Heizöl, Diesel, Benzin

Oft handelt es sich um Materialien mit leichtflüchtigen Stoffphasen. Für solche Materialien eignen sich Liner-Beprobungen.



Die *Residualsättigung* beschreibt die Menge einer Flüssigkeit, die ein Matrixmaterial maximal aufnehmen kann, ohne dass die flüssige Phase unter der Wirkung der Schwerkraft heraustropft. Physikalisch ist dies dadurch definiert, dass die einzelnen Ansammlungen der Flüssigkeit in einem Porenraum keinen Zusammenhang über makroskopische Strecken haben, sich also kein Fließen der Flüssigkeit einstellen kann. Diese Grösse ist von der Nutzporosität, der Flüssigkeit, sowie dem Wasser- und Luftgehalt eines Materials abhängig.

Die Beprobung eines residual gesättigten Materials erfolgt wie bei Material mit einer partikulären Kontamination.

Feste Stoffphasen, z.B. Metalle, werden in dieser Vollzugshilfe im Abschnitt partikuläre Kontamination behandelt.

Beispiel:

Kugelfangmaterial mit Geschossfragmenten (z.B. Blei, Kupferlegierungen)

10.4 Stoffsättigung

Beispiele: Tetrachlorethen (Perchlorethylen, Per), Blei in oxidierter Form, Chromat in Kieskörnern

Der Stoff ist in die Mikroporen der Körner des Matrixmaterials eingelagert oder eingebaut worden. Derartige Belastungen sind relativ schwer zu beurteilen, da in der Regel das Ausmass der Aufnahme von Stoffen im Matrixmaterial nicht bekannt ist. Bei geringer Diffusion kann diese Stoffverteilung wie eine Oberflächenkontamination beurteilt werden. Bei starker Diffusion sind sowohl die oberflächenproportionale wie auch die volumenproportionale Schadstoffverteilung zu betrachten.

Die Beprobung eines Materials mit Stoffsättigung erfolgt wie bei Material mit einer partikulären Kontamination.

11 Minimale Probenmasse

Die minimal notwendige Probenmasse ist diejenige Masse Probenmaterial, die bei der Probenahme entnommen und ggf. nach einer Aufbereitung im Feld (z.B. Absieben oder Aufteilen) analysiert werden muss, um eine repräsentative Aussage über den Stoffgehalt eines als homogen definierten Bereichs machen zu können. Die Probenmasse von Einzelproben wirkt sich direkt auf die Streubreite (=Varianz) der Messresultate um den wahren mittleren Stoffgehalt der Grundgesamtheit aus:

Bei der Bestimmung der minimalen Probemasse ist ausgehend von der Arbeitshypothese zu den Stoffeigenschaften zwischen

- Material mit einer partikulären Kontamination und
- Oberflächenkontamination des Matrixmaterials

zu unterscheiden (vgl. Kapitel 2.2, Seite 19).

Im Zweifelsfall ist bei der Bestimmung der minimalen Probenmasse von einer partikulären Kontamination auszugehen.

11.1 Bestimmung der minimalen Probenmasse bei Material mit partikulärer Kontamination

Die theoretischen Grundlagen zur Bestimmung der minimal erforderlichen Probenmasse für Material mit einer partikulären Kontamination sind in Anhang 3 (Seite 83ff) zusammengefasst. Im Weiteren wird auf die Fachliteratur verwiesen: [13], [16], [27].

Aus den theoretischen Grundlagen zur Bestimmung der minimal erforderlichen Probenmasse lässt sich für die Praxis die folgende *Faustregel zur Bestimmung der minimalen Probenmasse* ableiten. Sie stellt einen vertretbaren Kompromiss zwischen akzeptablem statistischem Fehler, Handhabbarkeit der Proben und von typischen Verteilungen der Schadstoffpartikel dar.

11.1.1 Abschätzung des maximalen Korndurchmessers

Die minimal erforderliche Probenmasse wird mit dem maximalen Korndurchmesser des zu beprobenden Materials bestimmt.

Als maximaler Korndurchmesser gilt derjenige Korndurchmesser, welcher 95 % des Materials umfasst.

Abbildung 32

Probenahme aus dem gleichen Probenmaterial, Auswirkung der Probenmasse von Einzelproben auf die Streubreite der Messresultate um den wahren mittleren Stoffgehalt der Grundgesamtheit (schematisch)

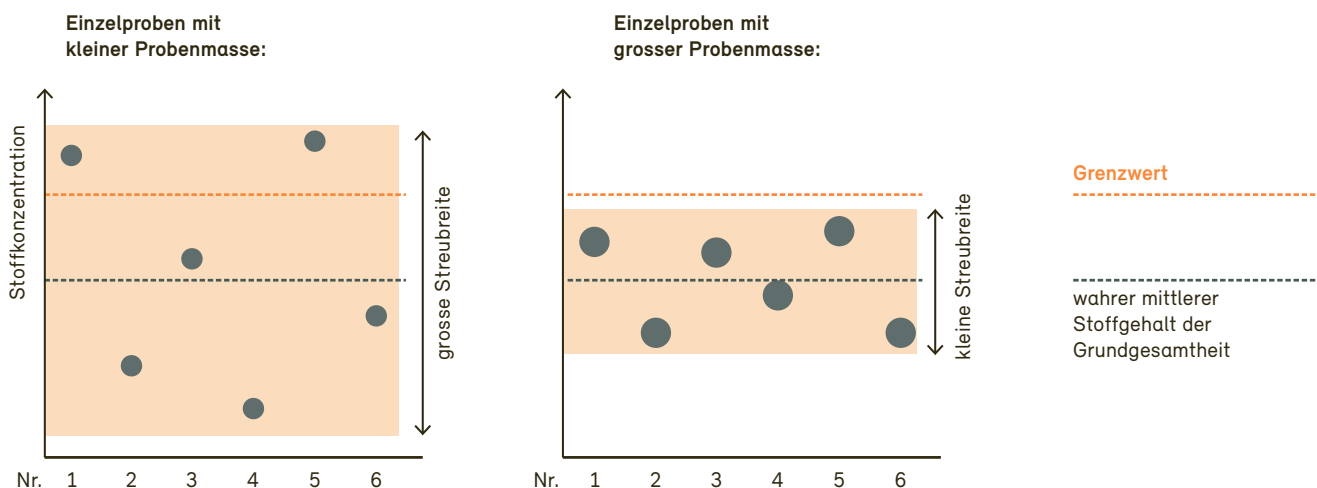
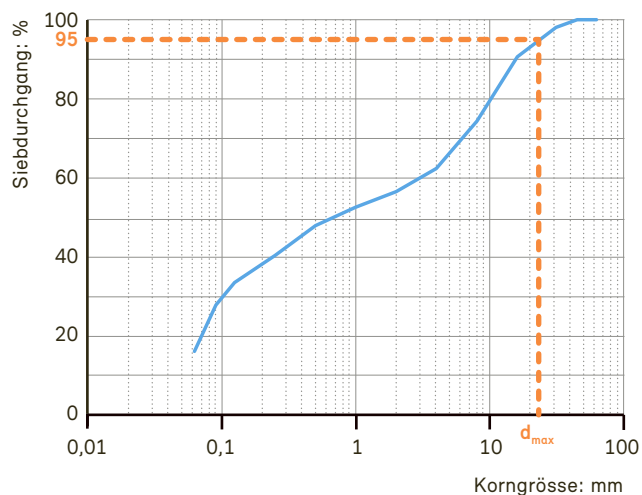


Abbildung 33

Beispiel einer Sieblinie, Bestimmung des maximalen Korndurchmessers $d_{\max}$



Grosse Ausreisser, welche aussortiert werden müssen und nicht in die Probe gelangen (z. B. grosse Steine, Blöcke) sind im Probenahmeprotokoll zu erwähnen.

Häufig liegt jedoch bei der Planung einer Probenahme keine Siebkurve als Grundlage für die Bestimmung des maximalen Korndurchmessers $d_{\max}$ vor. In diesem Fall muss $d_{\max}$ aufgrund einer optische Beurteilung des Materials abgeschätzt werden.

11.1.2 Bestimmung der minimalen Probenmasse

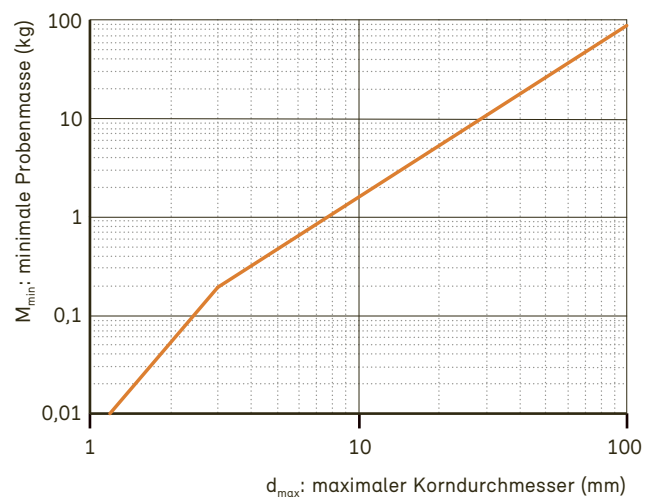
- Bei Proben mit Korndurchmessern bis 50 mm wird die minimal erforderliche Probenmasse nach Abb. 34 bestimmt.
- Die minimale Probenmasse ist proportional zur dritten Potenz des maximalen Korndurchmessers. Proben mit Korndurchmessern über 50 mm können daher nicht nach dieser Faustregel beurteilt werden. Sie bedingen spezielle Überlegungen zur erforderlichen Probenmasse.
- Bei Kompost sind abweichend von dieser Vorgabe mindestens folgende Probenmengen notwendig ([26]):
 - Bis 500 m³: Gewinnung von mindestens 60 bis 80 l Probenmaterial,
 - ab 500 m³: Gewinnung von mindestens 120 bis 160 l Probenmaterial.
- Die nach dieser Methode bestimmten minimalen Probenmassen basieren auf einem akzeptierten relativen

Probenahmefehler von $\varepsilon = 20\%$ (abhängig vom Massenanteil der Schadstofffraktion und von der Korngrösse; [13], [16], [23], [27]), vgl. Abschnitt A3.1 in Anhang 3, Seite 83ff, und Abbildung 39, Seite 85.

Abbildung 34

Material mit einer partikulären Kontamination

Minimal notwendige Probenmasse in Abhängigkeit von der maximalen Korngrösse der Probe. Nach [13], [16], [23], [27]. Rückstellproben sind in der minimal notwendigen Probenmasse nicht enthalten.



11.2 Bestimmung der minimalen Probenmasse bei Oberflächenkontamination des Matrixmaterials

Die theoretischen Grundlagen zur Bestimmung der minimal erforderlichen Probenmasse bei einer Oberflächenkontamination des Matrixmaterials sind in Anhang 3 (Seite 83ff) zusammengefasst. Im Weiteren wird auf die Norm DIN 15002 verwiesen ([13]).

Für weitgehend homogenes Probenmaterial mit einer Oberflächenkontamination des Matrixmaterials und mit einer hohen Dichte (z. B. Sand) kann die minimale Probenmasse mit der folgenden empirischen Formel bestimmt werden:

$$M_{\min} \approx 0.06 d_{\max}^3$$

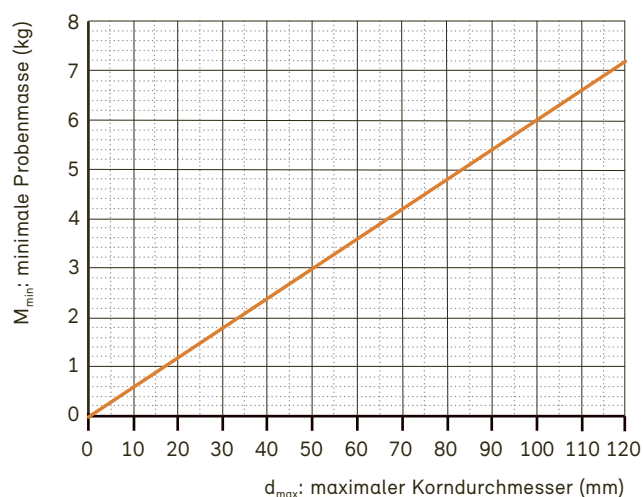
$M_{\min}$ in kg
 $d_{\max}$ in mm

Die minimal erforderliche Probenmasse wird wiederum mit dem maximalen Korndurchmesser des zu beprobenden Materials bestimmt. Als maximaler Korndurchmesser gilt derjenige Korndurchmesser, welcher 95 % des Materials umfasst (Abbildung 33, Seite 73).

Abbildung 35

Oberflächenkontamination des Matrixmaterials

Minimal notwendige Probenmasse in Abhängigkeit von der maximalen Korngrösse der Probe, nach [13]. Rückstellproben sind in der minimal notwendigen Probenmasse nicht enthalten.



11.3 Probenmasse bei Stoffen in Phase

Feste Stoffpartikel können entsprechend dem Abschnitt partikuläre Kontamination behandelt werden (vgl. Kapitel 11.1, Seite 72f).

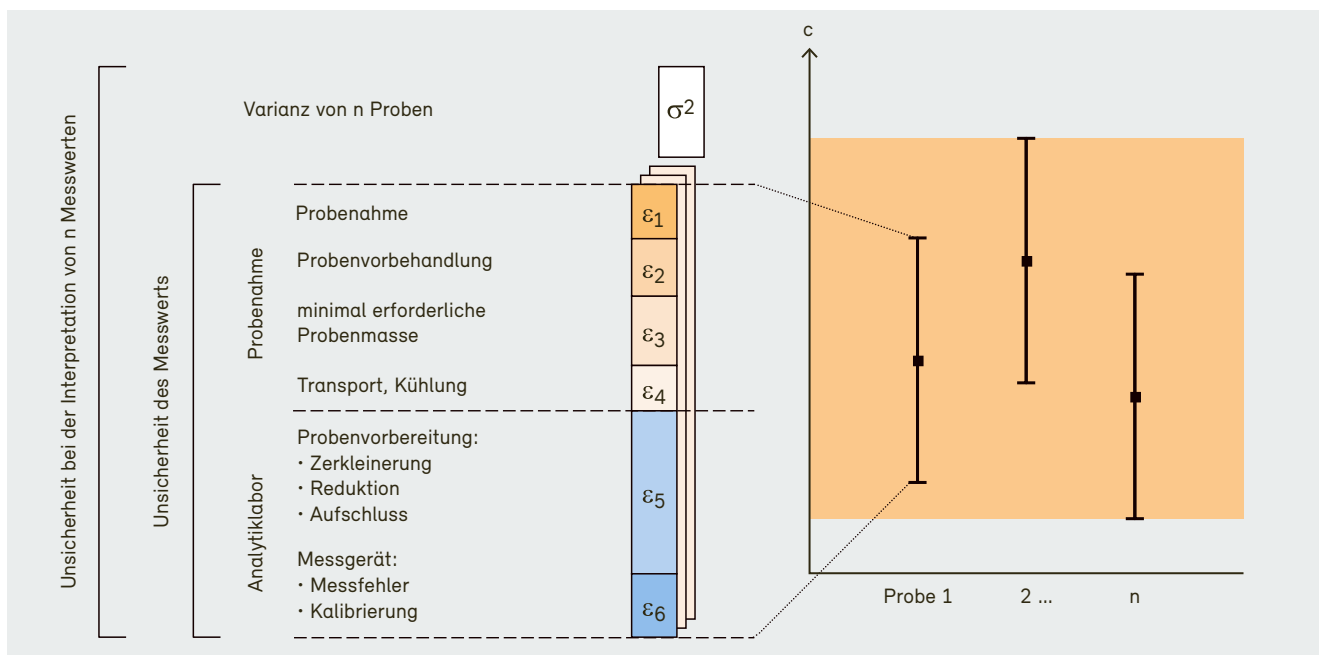
Flüssige Stoffphasen sind genau genommen «porenraumproportional» verteilt. Der Nutzporenraum hängt von der Korngrösse und von dem Ungleichförmigkeitsgrad der Kornverteilung ab. Am nächsten kommt diesen Verhältnissen die Oberflächenkontamination (vgl. Kapitel 11.2, Seite 73f).

Sind die Eigenschaften von partikulär verteilten Stoffpartikeln von Interesse wird die minimale Probenmasse entsprechend dem Abschnitt partikuläre Kontamination bestimmt (vgl. Kapitel 11.1, Seite 72f).

12 Betrachtung der Unsicherheiten

Abbildung 36

Zu beachtende Anteile bei der Abschätzung der Unsicherheit von Messwerten sowie bei der Interpretation von mehreren Messwerten aus einem Homogenbereich (schematisch, Grösse der Anteile nicht massstäblich)



12.1 Unsicherheiten bei der Probenahme und Analyse von Feststoffproben

In Abb. 36 wird die Prozesskette bei der Probenahme und Analyse dargestellt. Bei jedem dieser Teilschritte entstehen Abweichungen ε_i des Messwerts vom wahren Wert, welche systematischen und zufälligen Charakter haben können.

12.1.1 Abschätzung der gesamten Unsicherheit des Messwerts einer Probe

Die gesamte zufällige Unsicherheit eines Messwerts ε_{tot} wird aus den verschiedenen oben genannten Anteilen $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ mit dem Fehlerfortpflanzungsgesetz nach Gauss wie folgt bestimmt:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2}{n - 1}}$$

Unsicherheiten pflanzen sich fort. Beiträge zur Unsicherheit in einem Schritt der Prozesskette können nicht durch andere Teilbeiträge kompensiert werden. Jeder Schritt in der Prozesskette muss sorgfältig und gemäss Stand der Technik durchgeführt werden. Aus diesem Grund stellt diese Vollzugshilfe im zweiten Teil ein breites Spektrum an bewährten Methoden für die Teilschritte der Probenahme zur Verfügung (vgl. **Teil II: Vorgehen und Methoden**, Seite 35ff).

Generell kann die systematische Unsicherheit ε_{tot} nur grob abgeschätzt werden. Weitere Hinweise zur Beurteilung von Unsicherheiten finden sich beispielsweise in [35].

12.1.2 Teilbeiträge zur Unsicherheit bei der Probenahme

Die Teilbeiträge zur Unsicherheit bei der Probenahme können modellhaft wie folgt gegliedert werden:

Ort der Probenahme ϵ_1

- Bei Abfällen mit Heterogenität im grossen Massstab kann der gewählte Ort der Probeentnahme für das Messergebnis massgebend sein. Aus diesem Grund sind bei grösseren Abfallchargen mehrere Einzelproben verteilt über die Charge zu entnehmen (vgl. Kapitel 2.3.2, Seite 20).
- Aufgrund der vorhandenen Standortkenntnisse postuliert der Gutachter oder die Gutachterin bei der Planung der Probenahme einen Homogenbereich mit weitgehend konstanten lithologischen und chemischen Eigenschaften (Arbeitshypothese zu Stoffen und Stoffeigenschaften). Die Probe soll diesen Homogenbereich repräsentieren. Falls die Homogenität des zu interpretierenden Bereichs nicht vollständig diesen Annahmen entspricht, entsteht eine Ungenauigkeit des Messwerts bezüglich den wahren Eigenschaften des repräsentierten Bereichs (vgl. Kapitel 11, Seite 72ff bzw. Abbildung 34, Seite 73 und Abbildung 35, Seite 74).

Probenvorbehandlung ϵ_2

- Bei der Probenvorbehandlung muss das Mischen oder Teilen über das gesamte Korngrössenspektrum erfolgen.
- Das Ausscheiden von grossen Kornfraktionen bedarf besonderer Vorgehensweisen (vgl. Kapitel 3.3.6, Seite 28f).

Minimal erforderliche Probenmasse ϵ_3

- Modellhafte Annahmen zur Heterogenität im Nahbereich sind die Grundlage für die Bestimmung der minimal erforderlichen Probenmasse (vgl. Kapitel 2.3.1, Seite 20). Die für Material mit einer partikulären Kontamination nach Abbildung 34, Seite 73 bestimmten minimalen Probenmasse beinhalten einen akzeptierten relativen Probenahmefehler von $\epsilon = 20\%$ mit einem Vertrauensbereich von 95 % ([23], [27]).
- Neben den Annahmen zur Partikelverteilung ist auch der Durchmesser des Grösstkorns $d_{\max}$ selten präzise bekannt. Diese Angabe kann in den meisten Fällen nur grob abgeschätzt werden und ist somit auch mit einer entsprechenden Unsicherheit behaftet.
- Bei **flüchtigen Stoffen** ist bei der Probenahme mit nicht quantifizierbaren Verlusten zu rechnen, welche das Messresultat stark beeinflussen können (vgl. Kapitel 3.3.1, Seite 27).

Transport und Kühlung ϵ_4

- Unsachgemässe Verpackung, Verzicht auf Kühlung und lange Transport- bzw. Lagerzeiten können bei flüchtigen Stoffen zu grossen Fehlern bei den Messergebnissen führen (vgl. Kapitel 5, Seite 31ff).

Unsicherheiten im Analytiklabor ϵ_5 und ϵ_6

- Für die systematischen Unsicherheiten bei der Probenaufbereitung und Messung von Laborproben wird auf die Vollzugshilfe *Analysemethoden im Abfall- und Altlastenbereich* [23] verwiesen.

12.2 Berücksichtigung der Unsicherheit bei der Darstellung von Messwerten: Anzahl signifikante Stellen

Die Messgeräte des Analytiklabors liefern in der Regel Messergebnisse mit 4, 5 oder mehr signifikanten Dezimalstellen. Solche Messergebnisse täuschen oft eine Genauigkeit vor, welche die oben beschriebene systematische, nicht vermeidbare Ungenauigkeit bei der Probenahme weit übertrifft. Die Darstellung der Messergebnisse muss daher in einer Art erfolgen, welche die systematische Ungenauigkeit bei der Probenahme beachtet und keine scheinbare Genauigkeit vortäuscht.

Beim Vergleich von Messwerten mit Richt- und Grenzwerten in gesetzlichen Grundlagen und Vollzugshilfen sind zwei signifikante Stellen massgebend. Es wird daher empfohlen, Messergebnisse in Berichten ebenfalls mit zwei signifikanten Stellen anzugeben (vgl. [23], [34]).

Beispiele:

Tabelle 15

Signifikante Stellen und gerundete Messwerte, Beispiele, nach [23]

Grenzwert	Messwert	Angabe des Messwerts in Berichten		Beurteilung
		Darstellung	Anzahl signifikante Stellen	
10	10.27	10	2	Grenzwert eingehalten
10	10.53	11	2	Grenzwert nicht eingehalten
1000	1012	1000	2	Grenzwert eingehalten
1000	1070	1100	2	Grenzwert nicht eingehalten
0.1	0.104	0.10	2	Grenzwert eingehalten
0.1	0.136	0.14	2	Grenzwert nicht eingehalten
0.1	<0.050	<0.05	2	Grenzwert eingehalten
0.01	0.0105	0.011	2	Grenzwert nicht eingehalten

12.3 Umgang mit Unsicherheiten beim Vergleich mit gesetzlichen Grenz- und Entscheidungswerten

Messwerte sind immer mit einer Unsicherheit behaftet. Bei der Deklaration von Abfällen sind Stoffgehalte nahe bei gesetzlichen Grenz- bzw. Entscheidungswerten von besonderer Bedeutung:

- Für die Beurteilung einer Probe bezüglich Einhaltung oder Überschreitung von Grenz- oder Entscheidungswerten gilt ausschliesslich der ausgewiesene Messwert. Unsicherheiten werden weder abgezogen noch dazugezählt.
- Liegen für die Bewertung einer Abfallcharge mehrere Proben und entsprechend mehrere Messwerte vor, ist der Mittelwert aller Messwerte zu verwenden (vgl. [23]).

zu Stoffen und Stoffeigenschaften, bei der Erarbeitung des Probenahmeplans sowie bei der Dokumentation der Probenahme soll mit diesen Regeln in keiner Weise abgekürzt oder eingeschränkt werden.

Die mit der Probenahme und der Messung einhergehenden Unsicherheiten sind im Untersuchungsbericht abzuschätzen und zu diskutieren.

Diese Regeln können nicht sämtliche Fälle abdecken. Die Qualität einer Abfalldeklaration hängt primär von der Probenahme ab und in den meisten Fällen erst in zweiter Linie von der nachfolgenden Analytik.

Die Auseinandersetzung des Probennehmers oder des Gutachters bzw. der Probennehmerin oder der Gutachterin mit Unsicherheiten im Rahmen der Arbeitshypothese

Anhang 1: Grundlagen

A1.1 Gesetzliche Grundlagen

AltIV

Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung; AltIV). – SR 814.680.

VVEA

Verordnung vom 4. Dezember 2015 über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA). – SR 814.600.

USG

Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG). – SR 814.01.

VBBö

Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBö). – SR 814.12.

A1.2 Relevante Normen aus dem Bereich Probenahme

[1]

ASTM (2007): Standard Practice for Sampling Waste Streams on Conveyors. – ASTM D7204-07.

[2]

ASTM (2011): Standard Guide for Sampling of Drums and Similar Containers by Field Personnel. – ASTM D6063-11.

[3]

ASTM (2012): Standard Practice for Sampling Consolidated Solids in Drums or Similar Containers. – ASTM D5679-94a (Reapproved 2012).

[4]

ASTM (2013): Standard Practice for Sampling Unconsolidated Waste From Trucks. – ASTM D5658-13.

[5]

ASTM (2014): Standard Practice for Sampling Unconsolidated Solids in Drums or Similar Containers. – ASTM D5680-14.

[6]

BSi British Standards (2006): Characterization of waste. Sampling of waste materials. Guidance on sampling techniques. – CEN/TR 15310-2, 29.12.2006.

[7]

BSi British Standards (2006): Characterization of waste. Sampling of waste materials. Guidance on procedures for sample packaging, storage, preservation, transport and delivery. – CEN/TR 15310-4, 29.12.2006.

[8]

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2008): Gefährdung durch Hautkontakt. Ermittlung, Beurteilung, Massnahmen. – Technische Regel für Gefahrstoffe 401 (TRGS-401), www.baua.de.

[9]

DIN (2009): Untersuchung von Feststoffen – Probenvorbereitung, -vorbereitung und -aufarbeitung für chemische, biologische und physikalische Untersuchungen. – DIN 19747, Juli 2009.

[10]

DIN (2011): Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden – Anleitung zur Probenvorbereitung. – DIN 16179-11.

[11]

DIN (2011): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung. – DIN 18123-11.

[12]

DIN (2014): Untersuchung von Feststoffen – Probenahme von festen und stichfesten Materialien – Teil 1: Anleitung für die segmentorientierte Entnahme von Proben aus Haufwerken. – DIN 19698-1, Mai 2014.

[13]

DIN (2015): Charakterisierung von Abfällen – Herstellung von Prüfmengen aus der Laborprobe. – DIN 15002-15, Juli 2015.

[14]

Europäisches Komitee für Normung (1996): Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 1: Probenahmeverfahren. – EN 932-1.

[15]

EPA (2002): RCRA Waste Sampling. Draft Technical Guide. Planning, Implementation and Assessment. – Solid Waste and Emergency Response (5305W, EPA530-D-02-002, August 2002, www.epa.gov/osw.

[16]

LAGA (1983): LAGA PN 2/78K Grundregeln für die Entnahme von Proben aus Abfällen und abgelagerten Stoffen. – Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 9, Dezember 1983.

[17]

LAGA (2001). LAGA PN 98 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. – Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 32, Dezember 2001.

[18]

VSS (1986): Mineralische Baustoffe und Lockergesteine. Siebanalyse. Granulats minéraux et sols. Analyse granulométrique par tamisage. – SN 670 810c, 1986.

[19]

VSS (1991): Mineralische Baustoffe, Probenahme. Granulats minéraux. Prélèvement d'échantillons. – SN 670 800c, Februar 1991.

A1.3 Weitere Grundlagen

[20]

Aichberger K. et al, 1985, Soil sampling for trace element analysis and its statistical evaluation, in: Gomez A., Leschber R., L'Hermite P. (ed.), Sampling problems for the

chemical analysis of sludge, soils and plants. – Elsevier Applied Science Publishers, 38 – 44, London.

[21]

BAFU (2006): VASA-Abgeltungen bei Schiessanlagen. Mitteilungen des BAFU an die Gesuchsteller. – Umwelt-Vollzug, Altlasten 34/06, UV-0634-D.

[22]

BAFU (2016): Probenahme von Altholz. – Merkblatt April 2016, www.bafu.admin.ch.

[23]

BAFU (2017): Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich (Stand 2017). – Vollzug Umwelt, UV-1715-D.

[24]

BAFU (in Vorbereitung): Vollzugshilfe zur Entsorgung von Schlämmen aus der Bauwirtschaft. – Vollzugshilfe in Vorbereitung.

[25]

Bundesamt für Verkehr (BAV) (2002): Gleisaushubrichtlinie: Planung von Gleisaushubarbeiten, Beurteilung und Entsorgung von Gleisaushub. – September 2002.

[26]

Bundesgütergemeinschaft Kompost e.V. (Hrsg.) (2006): Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate. – 5. Auflage.

[27]

Bunge R. & Bunge K. (1999): Probenahme auf Altlasten: Minimal notwendige Probenmasse. – altlasten spektrum 3/99 p. 174 – 179.

[28]

BUWAL (2003): Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden. Handbuch Bodenprobenahme VBBo. – Vollzug Umwelt, VU-4814-D.

[29]

ChloroNet (Hrsg.) (2008): Leitfaden Chlorierte Kohlenwasserstoffe: Stoffeigenschaften. – BAFU, Mai 2008: www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/altlasten/fachinformationen/chloronet.html.

[30]

ChloroNet (Hrsg.) (2016): Untersuchung von CKW-Belastungen. Expertenbericht. – BAFU, Oktober 2016.
www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/altlasten/fachinformationen/chloronet.html
www.bafu.admin.ch/chloronet.

[31]

De Zorzi, P. et. al (2015): Terminology in Soil Sampling (IUPAC Recommendations 2005). – Pure Appl. Chem., Vol. 77, No. 5, pp. 827 – 841, 2005.

[32]

Federer P. et al, (1989): Wie repräsentativ sind Bodenanalysen? – Landwirt. Schweiz, 6, 363 – 367.

[33]

Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Ostschweiz/FL (KVU Ost) (2015): Unverschmutzter Aushub: Definition der stofflichen Qualitätsanforderungen. – Faktenblatt AUS 1, 30.6.2015.

[34]

Poppitz, W. (2010): Angabe und Beurteilung der Ergebnisse von Einzelmessungen unter Berücksichtigung der Messungenauigkeit und der Rundungsregel. – Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, Oktober 2010.

[35]

Spirgath, Th. (2006): Entwicklung von Kriterien zur Beurteilung der Unsicherheiten bei der Probennahme von Feststoffen. – Diss. Freie Univ. Berlin (2006).

[36]

SUVA (2014): Schutzmassnahmen bei der Entsorgung von Abfall mit schwachgebundenem Asbest auf der Deponie. – Factsheet Nr. 33063.d, November 2014,
www.suva.ch/waswo/33063.d.

[37]

SUVA (2014): Schutzmassnahmen bei der Entsorgung von Abfall mit festgebundenem Asbest auf der Deponie. – Factsheet Nr. 33064.d, November 2014,
www.suva.ch/waswo/33064.d.

[38]

SUVA (2015): Alles, was Sie über PSA wissen müssen: Eine Dokumentation für Betriebe zum Thema Persönliche Schutzausrüstungen (PSA). – Informationsschrift 44091.D.

[39]

Terry R.D. & Chilingar G.V. (1955): Summary of «Concerning some additional aids in studying sedimentary formations» by M.S. Shvetsov. – Journ. Sed. Petrology 25/3, p. 229 – 234.

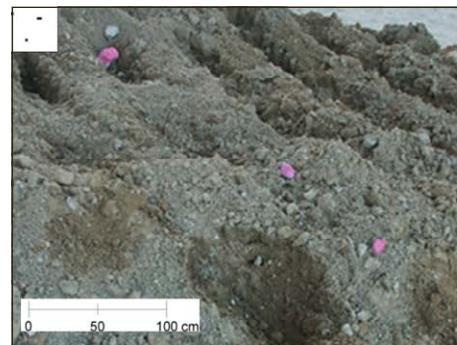
[40]

ZAR Stiftung Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung (Hrsg.) (2014): Methodenband Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse der thermischen Abfallbehandlung und deren Aufbereitungsprodukten. – März 2014.

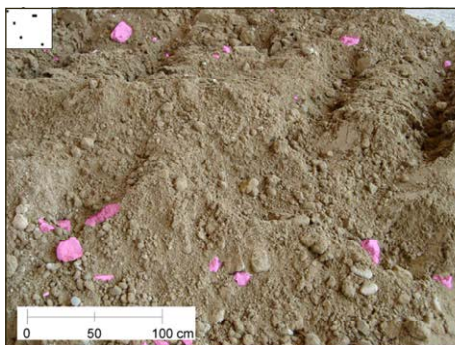
Anhang 2: Abschätzung von Prozentanteilen



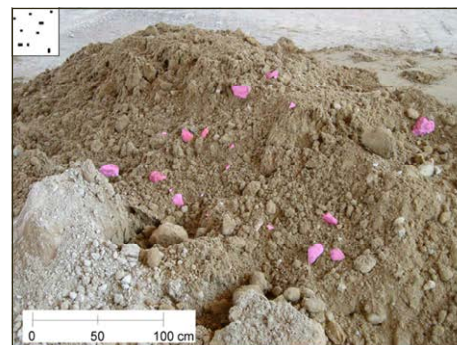
Referenz:
mineralische
Bauabfälle, 100%



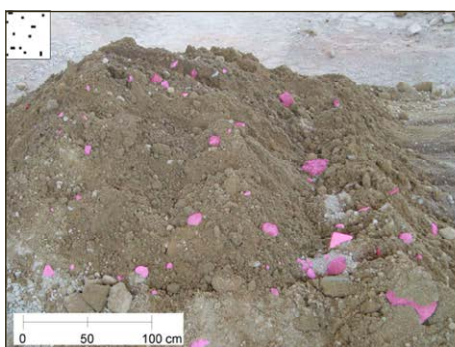
1%



2%



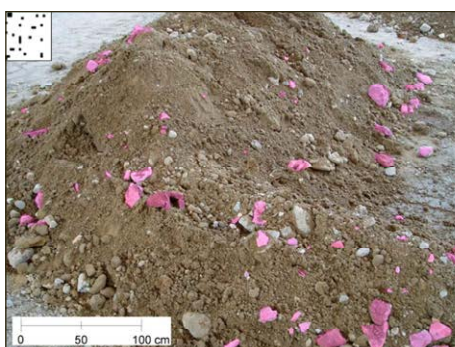
3%



4%



5%

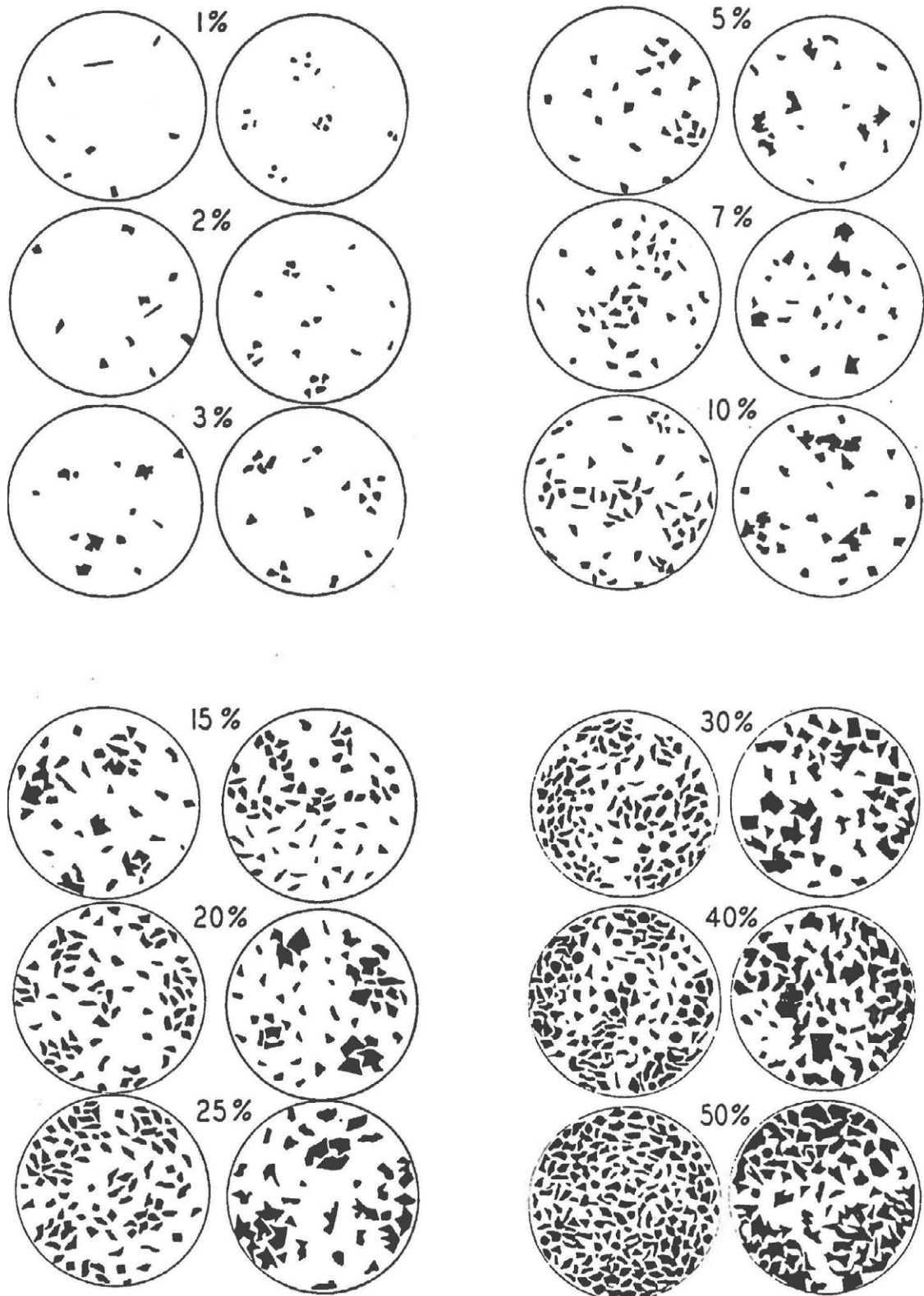


7%



9%

Aus [39]



Anhang 3: Minimal erforderliche Probenmasse – theoretische Grundlagen

Abkürzungen

$d_{\max}$

maximaler Durchmesser der potenziell belasteten Partikel, 95 % Perzentil der Kornverteilungskurve.

d_5

«minimale» Korngrösse der potenziell belasteten Partikel, 5 % Perzentil der Kornverteilungskurve.

In einer Lösung (z. B. eine Lösung von Kochsalz in Wasser) sind die Konzentrationen örtlich gleich. Es spielt bei der Probenahme keine Rolle, an welcher Stelle in der Lösung die Probe genommen wird oder wie gross das Probenvolumen gewählt wird, da jedes Teilvolumen der Lösung die gleiche Zusammensetzung hat.

Nimmt man jedoch aus einer abgegrenzten Menge eines festen Abfalls (hier als Charge bezeichnet) eine Probe, wird in der Regel der Gehalt an Schadstoffen in der Probe vom mittleren Gehalt an Schadstoffen in der gesamten Charge abweichen. Ursache der Abweichung sind örtliche Unterschiede der Zusammensetzung, die oft auch als Heterogenität des Materials bezeichnet werden.

Die Probenahme muss so erfolgen, dass trotz Heterogenität die entnommene Probe die Eigenschaften der gesamten zu beurteilenden Charge oder Partie repräsentativ abbildet.

Ein adäquates Vorgehen bei der Probenahme hat die Art der Heterogenität zu berücksichtigen. Dabei werden folgende Fälle unterschieden:

- **Makroskopische Heterogenität.** Die Konzentration an Schadstoffen schwankt örtlich, wobei ein Massstab von etlichen Metern gemeint ist. In solchen Fällen ist vor Probenahmen zu entscheiden, ob Rasterbeprobungen oder zielgerichtete Teilung der Charge sinnvoll

sind. Diese Techniken sind jedoch nicht Gegenstand dieser Vollzugshilfe (vgl. Kapitel 9.3, Seite 67).

- **Heterogenität im Nahbereich.** Auch im Nahbereich – gemeint sind einige Zentimeter – kann die Zusammensetzung des Materials einer Charge erheblich schwanken. Zum einen kann die Schadstoffkonzentration zwischen einzelnen Partikeln stark schwanken, zum anderen können die Partikel im Abfall unregelmässig verteilt sein (vgl. Kapitel 9.2, Seite 66f).
- **Zeitliche Heterogenität.** Bei Abfällen aus industriellen Prozessen treten oft periodische Schwankungen der Zusammensetzung auf. Repräsentative Probenahmen erfordern den Einsatz von automatischen Proben-sammlern oder von geschichteten Probenahmetechniken (vgl. Kapitel 9.4, Seite 67f).

A3.1 Material mit einer partikulären Kontamination (= volumenproportionale Stoffverteilung)

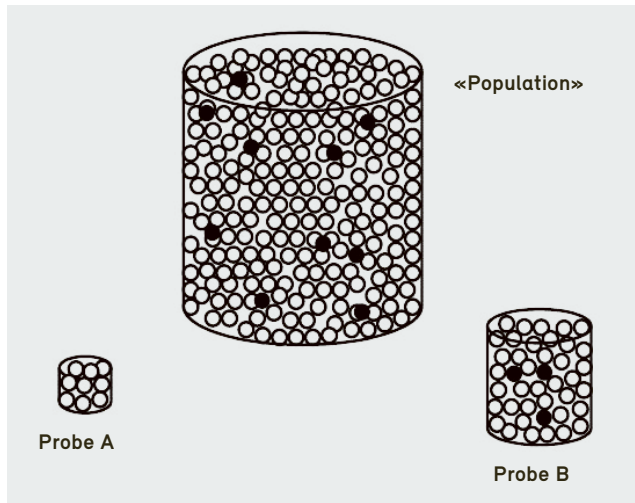
Werden von einer grossen Probenmasse bestehend aus Körnern mit unterschiedlichem Stoffgehalt nach dem Zufallsprinzip Stichproben entnommen und analysiert, so weisen die Messresultate einen relativen Fehler ε auf.

Dieser fundamentale Fehler hängt von der Zusammensetzung, den Partikelformen, der Korngrössenverteilung und den chemischen Eigenschaften ab und kann durch Mischen oder Homogenisieren nicht reduziert werden.

In Abbildung 37, Seite 84 wird ein Modellsystem bestehend aus vielen weissen und wenigen schwarzen Kugeln dargestellt ([15]). Die schwarzen Kugeln symbolisieren die Schadstoffpartikel im Material. Wird eine Probe von wenigen Kugeln entnommen (Probe A), ist die Wahrscheinlichkeit gering, dass die Probe eine oder mehrere schwarze Kugeln enthält. In vielen Proben wird daher der Anteil der schwarzen Kugeln in der Population unterschätzt, in einigen wenigen Proben mit ein oder mehreren schwarzen Kugeln dagegen überschätzt.

Abbildung 37

Auswirkung der Probengrösse auf den fundamentalen Fehler. Aus [15]



Wird das Probenvolumen erhöht (Probe B), repräsentiert die Anzahl der schwarzen Kugeln eher die Zusammensetzung des Modellsystems.

In [27] wird die folgende Gleichung für die minimale Probenmasse von Material mit einer partikulären Kontamination hergeleitet:

$$(1) \quad M_{\min} = \frac{1}{p} \left(\frac{z}{\varepsilon} \right)^2 \frac{\pi \rho}{6} \frac{1}{1 + 3 \lg \frac{d_{\max}}{d_5}} d_{\max}^3$$

$M_{\min}$ minimale Probenmasse in g

$d_{\max}$ maximaler Durchmesser der Partikel (95 %-Perzentil) in cm

d_5 Durchmesser des 5 %-Perzentsils der Partikel in cm

ρ mittlere Dichte der Partikel in g/cm³

p Partikelfraktion mit der interessierenden Eigenschaft (vgl. Abbildung 28, Seite 65): Wenn jedes einzelne Partikel der Probe die gleiche Menge an interessierendem Stoff hat, ist $p = 1$. Für Stoffe, die in hoher Konzentration vorliegen, kann ein Wert von $p = 0.1$ verwendet werden, für Stoffe in geringer Konzentration (z. B. Spurenelemente), kann $p = 0.001$ verwendet werden.

z Vertrauensintervall

ε akzeptierter relativer Probenahmefehler
Der relative Fehler ε entspricht dem Quotienten aus dem absoluten Fehler und dem exakten Wert.

Die in der Gleichung (1) verwendeten Grössen nehmen typischerweise folgende Werte an:

Vertrauensintervall

$\alpha = 95 \%$, $z = 1.96$

akzeptierter relativer Probenahmefehler

$\varepsilon = 20 \%$

Massenanteil an Schadstoffpartikeln

$p = 0.1 \%$ bis 10%

mittlere Dichte von mineralischen Schadstoffträgerpartikeln

$\rho = 2.5 \text{ g/cm}^3$

mittlere Dichte von organischen Schadstoffträgerpartikeln

$\rho = 2.5 \text{ g/cm}^3$

mittlere Dichte von metallischen Schadstoffträgerpartikeln

$\rho = 10 \text{ g/cm}^3$

Maximale Korngrösse der Schadstoffpartikel

$d_{\max} = 0.1$ bis 10 cm

Bandbreite der Korngrössenverteilung

$\lg(d_{\max}/d_5) = 1$ bis 2

Unter diesen Annahmen lässt sich die minimal erforderliche Probenmasse $M_{\min}$, bei welcher der Fehler ε unterschritten wird, wie folgt abschätzen ([27]):

$$(2) \quad M_{\min} = \frac{10 \rho}{p} d_{\max}^3$$

$M_{\min}$ in g

ρ in g/cm³

$d_{\max}$ in cm

p Massenanteil Schadstoffpartikel

Die minimal erforderliche Probenmasse ist somit nur abhängig vom Massenanteil, von der Korngrösse und von der Dichte der Schadstoffpartikel.

Graphisch umgesetzt, ergibt sich aus dieser Formel folgender Zusammenhang zwischen dem maximalen Durch-

messer der Schadstoffpartikel $d_{S_{\max}}$ und der minimal erforderlichen Probenmasse $M_{\min}$ (Abb. 38, Abb. 39).

Abbildung 38

Material mit einer partikulären Kontamination

Minimale Probenmasse vs. maximaler Durchmesser der Schadstoffpartikel $d_{S_{\max}}$ mit folgenden Annahmen:

- Dichte der Schadstoffpartikel $\rho_S = 2.5 \text{ g/cm}^3$,
- akzeptierter relativer Probenahmefehler $\varepsilon = 20 \%$,
- Kornbandbreite $\log(d_{\max}/d_{10}) = 1.5$.

nach [27].

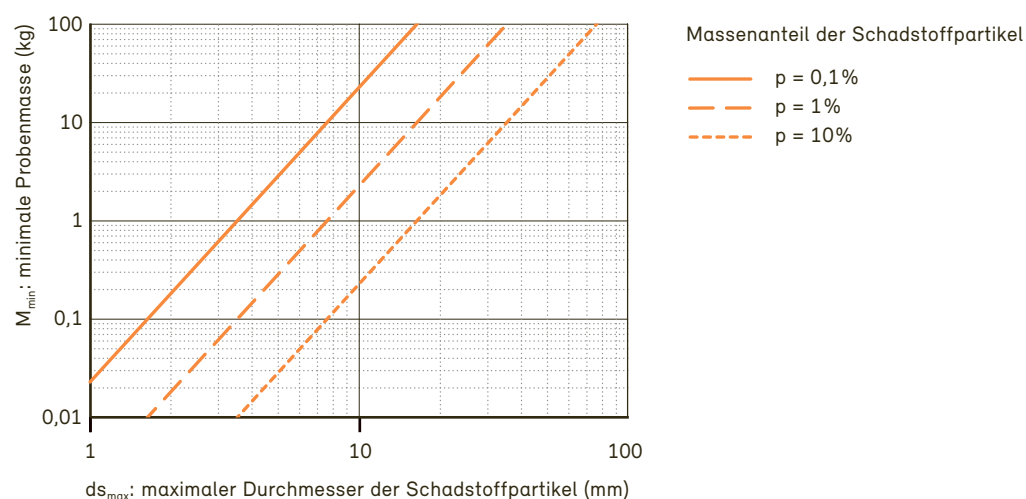


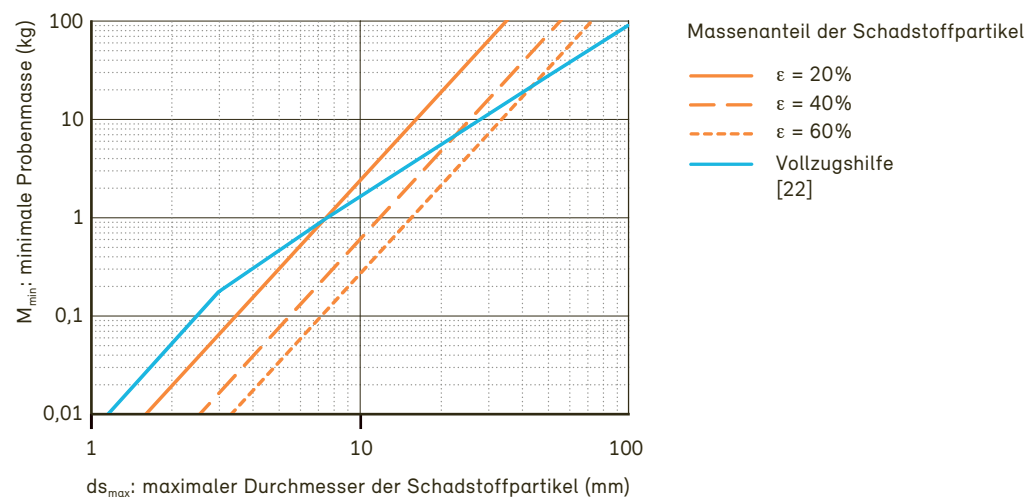
Abbildung 39

Material mit einer partikulären Kontamination

Minimale Probenmasse vs. maximaler Durchmesser der Partikel $d_{\max}$ mit folgenden Annahmen:

- Dichte der Schadstoffpartikel $\rho_S = 2.5 \text{ g/cm}^3$,
- akzeptierter relativer Probenahmefehler $\varepsilon = 20 \%$, 40% und 60% ,
- Kornbandbreite $\log(d_{\max}/d_{10}) = 1.5$.

nach [27].



Beispiel: Aushubmaterial, welches mit Resten von Asphaltbelägen vermischt ist, soll beprobt werden. Der Massenanteil der Asphaltreste kann mit $p = 5\%$ angegeben werden. Die Belagsreste haben eine Dichte von $\rho \approx 2.2 \text{ g/cm}^3$. Die Bandbreite der Schadstoffpartikel reicht von 1 bis 20 mm. Bei einem akzeptierten Fehler von $\varepsilon = 20\%$ und einem Konfidenzintervall von 95 % ($z = 1.96$) wird mit Gleichung (2) eine minimale Probenmasse von 3.6 kg berechnet.

Mit Gleichung (2) kann auch nach erfolgter Probenahme und Analyse der tatsächlich akzeptierte Fehler ε bestimmt werden, indem man die theoretisch erforderliche minimale Probenmasse mit der effektiv entnommenen Probenmasse vergleicht (Abb. 40).

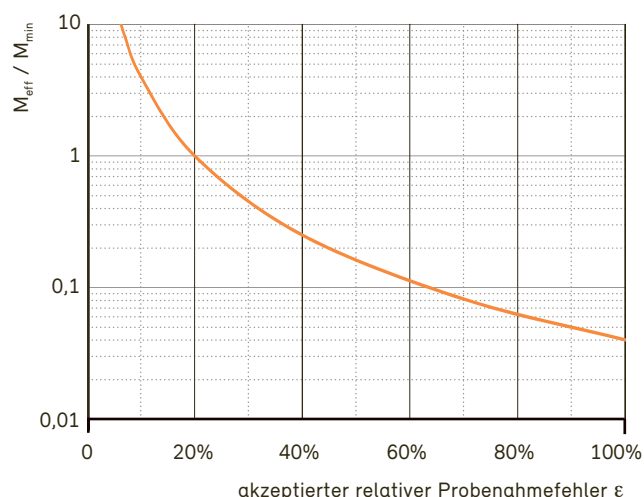
Abbildung 40

Akzeptierter relativer Probenahmefehler ε

Abhängigkeit des akzeptierten relativen Probenahmefehlers ε vom Quotienten aus tatsächlich entnommener Probenmasse M_{eff} und minimal notwendiger Probenmasse M_{min} mit

- Dichte der Schadstoffpartikel $\rho_S = 2.5 \text{ g/cm}^3$,
- Kornbandbreite $\log(d_{\text{max}}/d_{10}) = 1.5$.

nach [27].



Wenn im obigen Beispiel nur 360 g anstatt der erforderlichen 3.6 kg entnommen wird ($M_{\text{eff}}/M_{\text{min}} = 0.1$), so ist gemäss Abb. 40 mit einem Fehler von ca. 60 % zu rechnen.

A3.2 Material mit einer Oberflächenkontamination (= oberflächenproportionale Stoffverteilung)

Bei einer Oberflächenkontamination des Matrixmaterials gelten die oben aufgeführten Formeln nicht. Wenn sie dennoch angewendet werden, führt dies zu einer Überschätzung der effektiv notwendigen Probenmasse und somit zu einem Fehler nach der «sicheren Seite» ([27]).

Eine bezüglich Stoffgehalt repräsentative Probe muss bei Oberflächenkontamination des Matrixmaterials auch die Korngrössenverteilung korrekt widerspiegeln. Es kann daher auf die Normen DIN 18123 (Bestimmung der Korngrössenverteilung, [11]) und DIN 15002 (Charakterisierung von Abfällen, [13]) zurückgegriffen werden.

Die Probenmassen nach DIN 18123 ([11]) werden rein statistisch und unter der Annahme, dass die Stoffe gleichmässig auf alle Kornfraktionen verteilt sind, hergeleitet. Ausgehend von der Erfahrung, dass in gemischtkörnigen Böden das Feinkorn einen sehr hohen Anteil an der Gesamtoberfläche eines Untergrundmaterials hat, werden in LAGA ([16]) und neu in DIN 15002 ([13]) geringere Probenmassen vorgeschlagen, welche z. B. in siltigen Kiesen oder schwach kiesigen Sanden sicher noch akzeptable Ergebnisse liefern. Die Probenmassen nach DIN 15002 ([13]) berücksichtigen schwergewichtig die Stoffanteile im Feinanteil der Probe.

Die Abschätzung der minimal erforderlichen Probenmasse bei Oberflächenkontamination des Matrixmaterials erfolgt nach der Formel in Anhang B in DIN 15002 ([13]):

$$(3) \quad M_{\text{min}} = \frac{\pi}{6} d_{\text{max}}^3 \rho g \frac{1-p}{CV^2 p}$$

- M_{min} minimale Probenmasse in g
- d_{max} maximaler Durchmesser der Partikel in cm
- ρ mittlere Dichte der Partikel in g/cm^3
- g Korrekturfaktor Korngrössenverteilung: Entspricht dem Verhältnis d_{05}/d_{95} und gibt einen Hinweis auf die Korngrössenverteilung. Ein Wert g nah bei 1 entspricht einer engen Korngrössenverteilung, ein kleiner Wert g entspricht einer breiten

Korngrößenverteilung. Ein typischer Wert für natürliches Untergrundmaterial ist $g = 0.25$. Dieser Wert kann als Richtwert eingesetzt werden, wenn die Korngrößenverteilung nicht bekannt ist.

p Partikelfraktion mit der interessierenden Eigenschaft (vgl. Abbildung 28, Seite 65): Wenn jeder einzelne Partikel der Probe die gleiche Menge an interessierendem Stoff hat, ist $p = 1$. Für Stoffe, die in hoher Konzentration vorliegen, kann ein Wert von $p = 0.1$ verwendet werden, für Stoffe in geringer Konzentration (z. B. Spurenelemente), kann $p = 0.001$ verwendet werden.

CV Variationskoeffizient des Gesamtfehlers: Der Variationskoeffizient beschreibt die Streuung eines Wertes. Er wird berechnet indem man die *Standardabweichung* der Werte durch ihren *Mittelwert* dividiert.

Zusammenhang mit dem relativen Probenahmefehler ε :

$\varepsilon = z \times \text{Standardabweichung} / \text{Erwartungswert}$

$CV = \text{Standardabweichung} / \text{Erwartungswert}$

Entsprechend berechnet sich der Variationskoeffizient CV für einen relative Probenahmefehler ε wie folgt: $CV = \varepsilon / z$

Bei einem 95 % Vertrauensintervall und Rundung kann für den Variationskoeffizienten CV bei einen akzeptierten relativen Probenahmefehler von 20 % der Wert 0.1 eingesetzt werden.

In Abhängigkeit von der Beschaffenheit des zu beprobenden Materials und der Zielsetzung der Messung kann CV zwischen 0.1 und 0.3 schwanken.

Für fast homogenes Probenmaterial bzw. für Probenmaterial mit Oberflächenkontamination des Matrixmaterials ($p \approx 0.1$) und mit einer hohen Dichte (z. B. Sand) kann die minimale Probenmasse mit der folgenden empirischen Formel bestimmt werden ([13]):

(4)

$$M_{\min} \approx 0.06 d_{\max} \quad \begin{array}{l} M_{\min} \text{ in kg} \\ d_{\max} \text{ in mm} \end{array}$$

Beispiele für mit der Formel (3) berechnete Probenmassen:

Tabelle 16

Oberflächenkontamination des Matrixmaterials

Minimale Probenmasse $M_{\min}$ berechnet mit Formel (3) nach DIN 15002 ([13]).

	Mindestmasse je Einzelprobe $M_{\min}$ [kg]			
	$d_{\max} = 4 \text{ cm}$	$d_{\max} = 1 \text{ cm}$	$d_{\max} = 0.4 \text{ cm}$	$d_{\max} = 0.1 \text{ cm}$
sehr heterogen: $p = 0.001$	2160	34	2.18	0.034
heterogen: $p = 0.02$	107	1.67	0.11	0.0017
fast homogen: $p = 0.1$	19.6	0.306	0.020	0.0003

Anhang 4: Beispiel eines Probenahmeprotokolls

Untersuchung:

- Auftrag Nr.:
- Bezeichnung:

Probe Nr.

Datum, Uhrzeit der Probenahme:

Probenahmeort:

- Bezeichnung:
- Koordinaten: ☐ GPS
- Tiefe ab OKT: von cm bis cm

Lageskizze, Auffälligkeiten:
(ggf. Rückseite benutzen)

Wetter, Temperatur, Feuchtigkeit:

Art der Probe:

- ☐ repräsentative Probe ☐ Einzelprobe ☐ Linienprobe (Mischprobe)
☐ beurteilende Probe ☐ Flächenprobe (Mischprobe) ☐ Vertikale Mischprobe

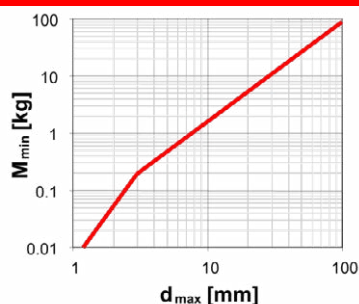
Probenmaterial:

- Feuchtezustand: ☐ nass ☐ feucht ☐ trocken
- Beschreibung:
 - Sichtbare Fremdanteile
 - Aussortierte Anteile (Beschreibung, Masse [kg])
- organoleptische Auffälligkeiten:

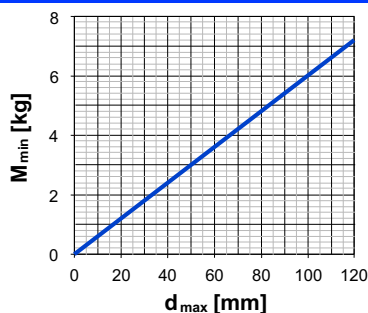
Probenmasse:

- Maximaler Korndurchmesser $d_{\max}$ [mm]:

- ☐ partikuläre Kontamination:



- ☐ Oberflächenkontamination des Matrixmaterials:



- minimal erforderliche Probenmasse $M_{\min}$ [kg]:

- effektiv entnommene Probenmasse M_{eff} [kg]:

Probenahmegerät:

Probenvorbehandlung:

Methode:

- ☐ Homogenisieren H1
☐ Mischen: M1

Aufteilen:

- ☐ Riffelteiler A1
☐ altern. Schaufeln A4
☐ auf Folie A5
☐ andere Methode:

Probengefäß:

Transport:

- ☐ gekühlt

Vorgesehene Messungen:

- Analytiklabor:
- Hinweise für das Labor:
- Abgegeben im Labor:
(Datum, Uhrzeit):

Probenahme durch:

- Name:
- Datum, Visum.

Anhang 5: Beispiel eines Laborauftrags

Untersuchung:

- Auftrag Nr.:
- Bezeichnung:

Probenahme:

Firma:

Name:

Analytiklabor:

Firma:

Eingang der Proben im Labor (Datum, Uhrzeit):

- ☐ Boden / Aushub im Altlasten- oder Entsorgungsbereich
- ☐ Oberboden nach VBBo
- ☐ übrige Feststoffe

Feld-Nr.:	Probenahme: • Datum • Uhrzeit	Probenbezeichnung:	Tiefe: • von • bis	Probenaufbereitung:	Untersuchung, Messung: Untersuchungsprogramm, Einzelparameter	Material für allf. weitere Messungen behalten
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐
				☐ VVEA ☐ VBBo		☐

Beilage:
☐ Probenahmeprotokolle, Anzahl:
Bemerkungen, Hinweise:

Kontakt für Rückfragen, Benachrichtigungen: (Tf., Fax, Email):

☐ Weitere Proben folgen ☐ Auftrag abschliessen