

Die Bedeutung der Vorbehandlung von Bodenproben für „richtige“ Analyseergebnisse

Michael Kerth, Vincent de Jong, Michaela Lichtner, Bernd Steinweg

1. Einführung und Problemstellung

Durch die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden in der Bundesrepublik Deutschland umfassende Regelungen gerade auch zu der technischen Durchführung von Bodenuntersuchungen rechtlich verbindlich vorgeschrieben. Unter anderem werden im Anhang 1 der BBodSchV unter Punkt 2.4 „Probengewinnung“ und Punkt 3 „Untersuchungsverfahren“ detaillierte Regelungen zur Abtrennung des Feinmaterials getroffen. Bezüglich der Homogenisierung wird dabei lediglich eine allgemeine Aussage getroffen.

Die BBodSchV führt unter Punkt 2.4 und Punkt 3 aus (Hervorhebung durch die Autoren):

2.4. „Probengewinnung“

2.4.1 Böden, Bodenmaterial und sonstige Materialien

Grobmaterialien (Materialien > 2 mm) und Fremdmaterialien, die möglicherweise Schadstoffe enthalten oder denen diese anhaften können, sind aus der gesamten Probemenge zu entnehmen und gesondert der Laboruntersuchung zuzuführen. Ihr Massenanteil an dem beprobten Bodenhorizont bzw. der Schicht-einheit ist zu ermitteln und zu dokumentieren.

3. Untersuchungsverfahren

3.1 Untersuchungsverfahren für Böden, Bodenmaterial und sonstige Materialien

Ist bei Böden, Bodenmaterial und sonstigen Materialien (insbesondere Schlacken und Bauschutt) eine Auftrennung in Grob- und Feinanteil erforderlich, hat dies über ein Sieb mit einer Maschenweite von 2 mm in die Fraktionen < 2 mm (Feinanteil) und >2 mm (Grobanteil) Korndurchmesser zu erfolgen. Verklumpungen sind zu zerkleinern, wobei aber geringstabile Aggregate (z.B. Carbonat-, Eisen-Konkretionen, Bims) möglichst nicht zerbrochen werden sollten. Beide Fraktionen sind zu wägen, zu beschreiben und zu dokumentieren, und deren Trockenmasseanteil ist zu bestimmen. Der Feinanteil ist zu homogenisieren und zu untersuchen. *Bestehen Anhaltspunkte für einen erhöhten Schadstoffgehalt der Fraktion > 2 mm, ist diese Fraktion zu gewinnen und nach Vorzerkleinerung und Homogenisierung ebenfalls zu untersuchen. Im Probenmaterial enthaltene Fremdmaterialien sind erforderlichenfalls getrennt zu untersuchen und bei der Bewertung zu berücksichtigen.*

In der LAGA Mitteilung 20 [1] werden im Hinblick auf die abfallrechtliche Einstufung von mineralischen Abfällen ebenfalls Regelungen zur Probenvorbehandlung getroffen. Diese Regelungen sind zwar nicht durch Gesetz oder Verordnung normierte, jedoch allgemein anerkannte Regeln und insbesondere im Behördenvollzug als etablierte technische Regeln einzustufen. Im Gegensatz zu der Probenvorbehandlung entsprechend Anhang 1 der BBodSchV ist generell das gesamte Probenmaterial ohne vorherige Abtrennung des Materials > 2 mm zu untersuchen. Ausnahme hiervon bilden nur natürliche, im gewachsenen Zustand beprobte Böden, in denen der Skelettanteil (d. h. der Anteil > 2 mm) abzutrennen ist.

Obwohl diese Regelungen letztendlich eindeutig sind, ist zu beobachten, dass in der deutschen Praxis der Altlasten- und Abfalluntersuchung durch Gutachterbüros und Analysenlabors dem Thema Probenvorbehandlung offensichtlich nicht die Bedeutung beigemessen wird, die diesem zu kommen müsste. So scheint es nach den Erfahrungen der Autoren in Deutschland gängige Praxis zu sein, das aus einer einmaligen Untersuchung von Böden bzw. Bodenmaterialien sowohl eine Beurteilung im Hinblick auf die bodenschutzrechtlichen Anforderungen (Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte) als auch im Hinblick auf die Zuordnungswerte der LAGA erfolgen. Dabei ist in vielen Fällen aus den entsprechenden Analysenberichten nicht oder nicht eindeutig ersichtlich, wie die Probe vorbehandelt wurde.

Dass das Fehlen einer konsequenten, an die jeweilige Aufgabenstellung angepassten und dokumentierten Probenvorbehandlung zumindest fahrlässig ist, weil sie zu groben Fehlbeurteilungen führen kann, soll mit dem nachfolgenden Beispiel dargestellt werden. Abschließend werden dann die Konsequenzen dargestellt, die sich für eine den gesetzlichen Vorgaben und den Regeln der Technik entsprechende Untersuchung von Böden und Bodenmaterialien ergeben.

2. Material und Methoden

2.1 Gewinnung von Probenmaterial

Auf einem Altstandort (ehemalige Eisenhütte) im nordöstlichen Nordrhein-Westfalen, der derzeit für eine Nachfolgenutzung aufbereitet wird, wurde Bodenmaterial aus einem Schurf beprobt. Bei dem beprobten Material handelt es sich um ein weitgehend technogenes Substrat mit hohem Anteil an karbonat-

Die Bedeutung der Vorbehandlung von Bodenproben für „richtige“ Analysenergebnisse

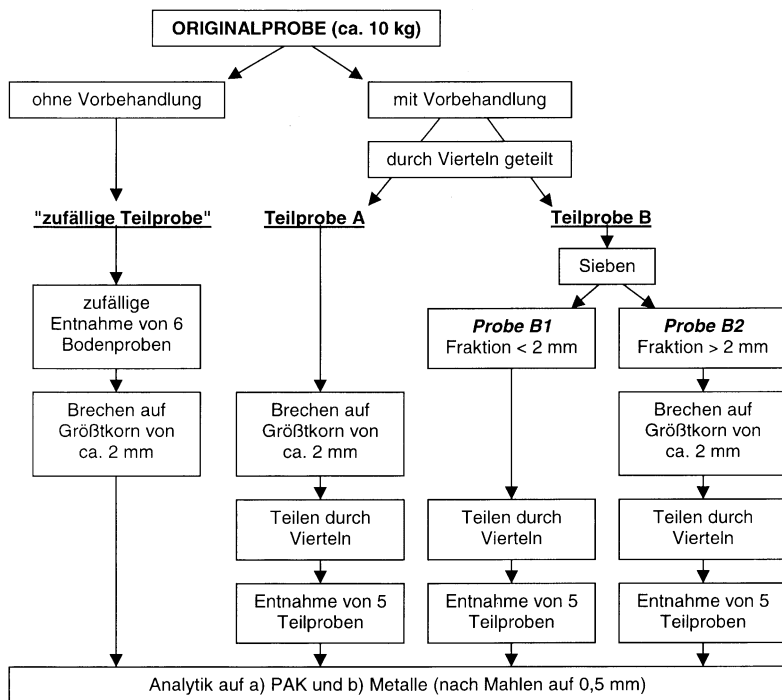


Abbildung 1:
Schematische Darstellung des Versuchsprogrammes

haltigen Schlacken. Dabei sind verschiedene Schlackenmaterialien (glasartige, dunkelgrau bis schwarzgefärbte sowie porige, grau gefärbte) vorhanden. Der Skelettanteil beträgt mehr als 50 %.

Entsprechend der bodenkundlichen Kartieranleitung [2] und ihrer Ergänzung um stadtbodenspezifische Besonderheiten [3] liegt am Standort ein anthropogener Auftragsboden (Regosol) mit einem nur sehr schwach humosen, initialem Oberboden (γ Aih-Horizont) über einem schichtig aufgebautem γ C-Horizont (bisher nicht oder kaum von Bodenbildungsprozessen verändertes Auffüllungsmaterial) vor.

Für die Laboruntersuchung wurde Material aus dem γ C-Horizont (0,3 bis 0,5 m Tiefe) ausgewählt. Auf Grund des hohen Skelettanteils mit Grobkiesfraktion sowie zur Bereitstellung ausreichender Materialmengen für die durchzuführenden Versuche wurde im vorliegenden Fall eine Probenmenge von rund 10 kg entnommen und zum Labor transportiert.

2.2 Versuchsprogramm

Der Ablauf des hier durchgeführten Versuchsprogrammes ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

2.2.1 Durchführung von Analysen ohne Probenvorbehandlung

Um die Inhomogenität der Probe und damit die möglichen Fehler bei einem Verzicht auf eine adäquate Probenvorbehandlung deutlich zu machen, wurden sechs mal „zufällig“ Teilproben von jeweils etwa 50 g aus dem angelieferten Eimer entnommen. Diese wurden mit flüssigem Stickstoff gekühlt und mittels eines auf ein Größtkorn von etwa 2 mm eingestellten Backenbrechers gebrochen. Das so gewonnene Material

wurde für die weiteren Untersuchungen eingesetzt. Eine Teilmenge dieses Materials (etwa 20 g) wurde für die PAK-Untersuchung entsprechend E DIN ISO 14507 direkt extrahiert. Das restliche Material wurde zuerst getrocknet, dann mit einer auf 0,5 mm eingestellten Scheibenmühle gemahlen, homogenisiert und nach einer Probenvorbereitung nach DIN ISO 11464 auf Metalle (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) untersucht.

2.2.2 Durchführung von Analysen mit Probenvorbehandlung

Die nach Entnahme der sechs Teilproben entsprechend Pkt. 2.1.2 verbleibende Originalprobe wurde durch Vierteln in zwei Hälften (Teilprobe A und Teilprobe B) geteilt.

Teilprobe A wurde mittels eines auf ein Größtkorn von etwa 2 mm eingestellten Backenbrechers unter Kühlung mit flüssigem Stickstoff gebrochen. Das so gewonnene Probenmaterial wurde durch Vierteln bis auf die Menge geteilt, die für die durchzuführende Analytik benötigt wird. Die weitere Vorgehensweise entspricht Punkt 2.1.2, wobei jeweils fünf Analysen durchgeführt wurden.

Teilprobe B wurde nass mit einem 2 mm Sieb in eine Fraktion < 2 mm (Teilprobe B.1) und eine Fraktion > 2 mm (Teilprobe B.2) aufgeteilt. Die Teilprobe B.2 wurde mittels eines auf ein Größtkorn von etwa 2 mm eingestellten Backenbrechers unter Kühlung mit flüssigem Stickstoff gebrochen. Das so gewonnene Probenmaterial wurde durch Vierteln bis auf die Menge geteilt, die für die durchzuführende Analytik benötigt wird. Die weitere Vorgehensweise entspricht Punkt 2.1.2, wobei jeweils fünf Analysen durchgeführt wurden.

■ Die Bedeutung der Vorbehandlung von Bodenproben

3 Ergebnisse**3.1 Allgemeine Parameter**

In Tabelle 1 ist die Streuung und der Mittelwert der Trockensubstanz sowie die Anteile < und > 2 mm aufgeführt. Wie aus diesen Ergebnissen deutlich wird, weist die Originalprobe einen hohen Grobkornanteil auf.

Tabelle 1:

Trockensubstanz und Skelettanteil der untersuchten Probe

Trockensubstanz	88–97%
Trockensubstanz (Mittelwert der Originalprobe)	93%
Fraktion < 2mm	31%
Fraktion > 2mm	69%

3.2 Analysen ohne Probenvorbehandlung

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Analysen von Teilproben ohne Probenvorbehandlung aufgeführt. Aus den Analyseergebnissen wird deutlich, dass die Gesamtprobe als sehr inhomogen einzustufen ist. Die relative Standardabweichung der Ergebnisse für PAK (Summe von 16 PAK nach EPA) beträgt 62% und für 7 der untersuchten Schwermetalle > 30% (minimal 33, maximal 109 %).

3.3 Analysen mit Probenvorbehandlung

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Analysen an der Teilprobe A aufgeführt. Die relativen Standardabweichungen zwischen den einzelnen Analysen sind deutlich geringer als ohne Probenvorbehandlung, sie liegen mit Ausnahme des Parameters Nickel unter 25 %. In den Tabellen 4 und 5 sind die Ergebnisse der Analysen an den Fraktionen < und > 2 mm (Teilprobe B) aufgeführt. Die relativen Standardabweichungen betragen durchgängig weniger als 20 %.

Auffällig ist, dass die Metallgehalte der Fraktionen < und > 2 mm deutlich voneinander abweichen. Bis auf den Parameter Chrom sind dabei die Metallgehalte in der Feinfraktion höher als in der Grobfraktion. Chrom ist dagegen in der Grobfraktion um den Faktor 4,4 gegenüber der Feinfraktion angereichert. Die PAK-Gehalte in der Feinfraktion sind etwa 5 mal höher als in der Grobfraktion.

3.4 Mischungsrechnungen

Mit den Massenanteilen der Fraktionen > und < 2 mm (Tabelle 1) und den in den Tabellen 4 und 5 aufgeführten Stoffgehalten kann rechnerisch der Stoffgehalt im Gesamtmaterial ermittelt werden. Dieses rechnerisch ermittelte Ergebnis kann dann mit den Analysendaten am nicht fraktionierten Gesamtmaterial (Tabelle 3) verglichen werden. Bei guter Übereinstimmung zwischen rechnerisch ermitteltem und analysiertem Wert ist davon auszugehen, dass die Teilproben A und B jeweils ein „Abbild“ der Originalprobe darstellen, d. h. die Probenmenge an Originalprobenmaterial ausreichend war, damit in beiden Teilproben auch das Grobkorn ausreichend repräsentiert war.

Die Bedeutung der Vorbehandlung von Bodenproben für „richtige“ Analyseergebnisse

Tabelle 2: Analyseergebnisse ohne Probenvorbehandlung

	PAK EPA [mg/kgTS]	As [mg/kgTS]	Cd [mg/kgTS]	Cr [mg/kgTS]	Cu [mg/kgTS]	Hg [mg/kgTS]	Ni [mg/kgTS]	Pb [mg/kgTS]	Zn [mg/kgTS]
1	0.5	<4	<1.2	24.9	14.7	0.07	2.1	18.1	82.9
2	4.3	7.96	<1.2	30.3	35.9	0.17	9.5	64.3	201
3	4.6	6.29	<1.2	269	27.8	0.10	7.4	22.8	71.2
4	5.8	<12	<3	30.2	28.6	0.14	14.7	40.2	116
5	7.7	16.6	<1.2	68.9	65.2	0.10	16.2	67.3	389
6	10.7	15.1	<0.4	89.6	36.0	0.10	13.9	47.5	321
Mittelwert	5.6	11.5	[-]	85.5	34.7	0.11	10.6	43.3	197
STD [%] ¹	62	44	[-]	109	49	33	50	47	67

¹) Standardabweichung für die 6 Teilproben

Tabelle 3: Analyseergebnisse nach Probenvorbehandlung (Teilprobe A)

	PAK EPA [mg/kgTS]	As [mg/kgTS]	Cd [mg/kgTS]	Cr [mg/kgTS]	Cu [mg/kgTS]	Hg [mg/kgTS]	Ni [mg/kgTS]	Pb [mg/kgTS]	Zn [mg/kgTS]
1	4.5	14.0	<0.4	241	43.8	0.07	15.0	44.7	284
2	4.9	12.8	<0.4	188	37.7	0.06	13.9	45.7	252
3	4.8	6.7	<0.4	189	20.2	0.10	15.1	29.7	132
4	5.1	13.0	<1.2	176	34.7	0.09	11.8	41.5	238
5	4.7	12.0	<1.2	185	34.1	0.07	31.8	43.7	245
Mittelwert	4.8	11.7	[-]	196	34.1	0.08	17.5	41.1	230
STD [%] ¹	5	25	[-]	13	25	20	46	16	25

¹) Standardabweichung für die 5 Teilproben.

Tabelle 4: Analyseergebnisse mit Probenvorbehandlung, Fraktion < 2 mm (Teilprobe B.1)

	PAK EPA [mg/kgTS]	As [mg/kgTS]	Cd [mg/kgTS]	Cr [mg/kgTS]	Cu [mg/kgTS]	Hg [mg/kgTS]	Ni [mg/kgTS]	Pb [mg/kgTS]	Zn [mg/kgTS]
1	9.8	18.7	2.0	41.2	61.7	0.22	18.2	88.8	572
2	9.8	16.5	1.9	43.1	53.7	0.14	16.6	89.2	463
3	10.2	17.8	1.8	39.2	53.1	0.15	15.9	77.6	462
4	11.9	19.8	2.1	37.4	65.4	0.18	17.6	80.4	697
5	10.2	18.9	1.8	57.7	54.0	0.15	14.4	75.7	455
Mittelwert	10.4	18.3	1.9	43.8	57.6	0.17	16.5	82.3	530
STD [%] ¹	8	7	6	19	10	20	9	8	20

¹) Standardabweichung für die 5 Teilproben.

Für den Parameter Blei ergibt die Mischungsrechnung
 $(82,3 \text{ mg/kg} \times 0,31) + (27,9 \text{ mg/kg} \times 0,69) = 44,8 \text{ mg/kg}$

In der nicht fraktionierten Probe wurden 41,1 mg/kg gefunden, d. h. es besteht eine gute Übereinstimmung zwischen rechnerisch ermitteltem und analysiertem Wert. Ähnlich gute Übereinstimmungen ergeben sich z. B. auch für den Parameter PAK.

Im Hinblick auf die Frage einer repräsentativen Beprobung auch des Grobkorns ist hier der Parameter Chrom von Interesse, da dieser im Grobkorn angereichert ist. Die entsprechende Mischungsrechnung ergibt einen Gehalt von 147 mg/kg, während in dem nicht fraktionierten Material ein Gehalt von 196 mg/kg analysiert wurde. Diese nur mäßige Übereinstimmung

macht wahrscheinlich, dass das Grobkorn in der Originalprobe statistisch gesehen nicht mehr ganz ausreichend repräsentiert war.

4 Diskussion und Konsequenzen

Vor dem Hintergrund, dass die BBodSchV ohne Wenn und Aber eine Abtrennung des Materials > 2 mm fordert und sich die Prüfwerte der BBodSchV auf dieses Material beziehen, ergeben sich bei allen Untersuchungen, die unter die Regelungen der BBodSchV fallen, folgende Konsequenzen:

1. Bei Vorhandensein von Grobmaterialien > 2 mm sind diese durch Siebung abzutrennen.
2. „Fremdmaterialien, die möglicherweise Schadstoffe enthalten oder denen diese anhaften können“ sind

Die Bedeutung der Vorbehandlung von Bodenproben für „richtige“ Analyseergebnisse

Tabelle 5: Analyseergebnisse mit Probenvorbehandlung, Fraktion > 2 mm (Fraktion B.2)

	PAK EPA [mg/kgTS]	As [mg/kgTS]	Cd [mg/kgTS]	Cr [mg/kgTS]	Cu [mg/kgTS]	Hg [mg/kgTS]	Ni [mg/kgTS]	Pb [mg/kgTS]	Zn [mg/kgTS]
1	1.8	9.4	<1.2	198	31.0	<0.05	10.1	29.2	186
2	1.9	9.7	<1.2	209	25.6	<0.05	10.9	28.6	183
3	2.0	10.0	<1.2	207	24.9	<0.05	9.5	27.6	176
4	2.2	8.3	<1.2	178	26.0	<0.05	8.5	27.3	179
5	1.9	9.0	<1.2	176	27.3	<0.05	9.1	26.5	190
Mittelwert	2.0	9.3	[–]	194	27.0	[–]	9.6	27.9	183
STD [%] ¹	9	7	[–]	8	9	[–]	10	4	3

¹) Standardabweichung für die 5 Teilproben.

ebenfalls abzutrennen. Bei Böden mit hohen Anteilen anthropogener Substrate (Regelfall) ist dies jedoch nicht praktikabel / sinnvoll.

- Generell ist durch den Altlasten-Sachverständigen zu überprüfen, ob Grob- und Fremdmaterialien möglicherweise Schadstoffe enthalten könnten. Wenn dies zu bejahen ist, muss ggf. eine gesonderte Laboruntersuchung dieser Materialien erfolgen, wobei bei Vorhandensein unterschiedlicher Fremdmaterialien diese jeweils getrennt untersucht werden sollten.
- Durch visuelle Schätzung (z. B. Auszählen oder Wiegen von händisch sortierten Körnern) kann der Massenanteil ggf. belasteter Fremdmaterialien ermittelt und über eine Mischungsrechnung die Konzentration im Gesamtmaterial abgeschätzt werden. Solche Herangehensweisen sind zum Beispiel bei Müllanalysen zur Ermittlung unterschiedlicher Parameter gängige Praxis und sollten aus Sicht der Autoren unbedingt – wie in der BBodSchV vorgeschrieben – auch im Altlasten- und Bodenschutz weitere Verbreitung und Akzeptanz (!) finden.

Die Ergebnisse von Untersuchungen entsprechend der BBodSchV können wegen i. d. R. nicht bekannter Verteilung der Schadstoffe auf die Grob- und Feinfraktion dabei nicht für eine abfallrechtliche Beurteilung zu Grunde gelegt werden. Die daher notwendige zweite Analyse ohne Aufteilung in Fraktionen mag dabei zwar insbesondere in Zeiten knapper Kassen Auftragsgebern schwer vermittelbar sein, ist jedoch aus fachlicher Sicht unverzichtbar.

Als weitere Konsequenz ergibt sich, dass Untersuchungen, bei denen keine Dokumentation der Probenvorbehandlung, hier insbesondere auch der Fraktionierung, vorliegen, weder für eine bodenschutz- noch für eine abfallrechtliche Beurteilung brauchbar sind.

In vielen Fällen wird es darüber hinaus auch notwendig sein, bereits im Hinblick auf das Vorhandensein von Altlasten untersuchte Standorte, bei denen entweder keine Dokumentation zur Probenvorbehandlung vorliegt oder das Gesamtmaterial ohne vorangegangene Fraktionierung untersucht wurde, einer erneuten Untersuchung zu unterziehen. Dies gilt insbesondere dann, wenn von erheblichen Anreicherungsfaktoren im Feinkorn auszugehen ist.

Umgekehrt muss, wie gerade die hier untersuchte Probe zeigt, davor gewarnt werden, aus Untersuchungen des Feinmaterials auf die Schadstoffgehalte des Gesamtmaterials zu schließen und auf einer solchen Grundlage eine abfallrechtliche Beurteilung vorzunehmen. Die relative Anreicherung von Schadstoffen im Feinmaterial ist zwar häufig, aber „Ausnahmen bestätigen die Regel“.

Insbesondere aus den dargestellten Untersuchungsergebnissen, aber auch aus vielfältigen Erfahrung der Autoren, ist damit abzuleiten, dass der Probenvorbehandlung im Labor eine erhebliche Bedeutung für „richtige“ Analyseergebnisse zu kommt. Durch eine Probenvorbehandlung im Labor kann aber nur erreicht werden, dass das Analyseergebnis eine „reproduzierbare“ Aussage über die angelieferte Probe liefert. Fehler bei der Probennahme, insbesondere auch nicht ausreichende Probenmengen bei Materialien

mit hohem Grobkornanteil, können auch durch eine noch so gute Probenvorbehandlung nicht mehr „repariert“ werden. Dabei dürften nach den Erfahrungen der Autoren in Deutschland die den Labors angelieferten Probenmengen von Material mit hohem Grobkorn-Anteil – z. B. gebrochenem Recyclingmaterial, das deklariert werden muss – regelmäßig deutlich zu gering sein, um auch das Grobkorn ausreichend zu repräsentieren. Von solchen Materialien sind Proben von mehreren Kilogramm bis zu mehreren Zeh-

ner Kilogramm in das Labor zu liefern und dort wie hier dargestellt zu verarbeiten. Der Aufwand für die Vorbehandlung solcher Proben dürfte dabei deutlich höher sein als der Aufwand für die durchzuführende Analytik. Die derzeit erzielbaren Marktpreise für eine Probenvorbehandlung stehen aber in auffälligem Kontrast zu dem aus fachlicher Sicht zwingend notwendigen Aufwand.

Wie hier gezeigt werden kann, ist im Hinblick auf die Erzielung „richtiger“ Analyseergebnisse, d. h. Ergebnisse, die eine Aussage über das angelieferte Material ermöglichen, die umfassende Probenvorbehandlung wesentlich wirtschaftlicher als die mehrfache Analyse ohne (adäquate) Probenvorbehandlung. Wie hier gezeigt werden kann, liegen die Mittelwerte der unterschiedlichen Parameter von sechs Analysen ohne Probenvorbehandlung (Tabelle 2) insbesondere bei Nickel und Chrom deutlich unter den vergleichsweise wenig streuenden Einzelwerten bzw. den entsprechenden Mittelwerten der Analysen mit Probenvorbehandlung (Tabelle 3). Dies bedeutet, dass bei heterogenen Materialien erst mit einer sehr hohen Anzahl von Analysen ohne Probenvorbehandlung die entsprechenden Mittelwerte die tatsächlich im angelieferten Material vorhandenen Stoffkonzentrationen abbilden würden. Da weitreichende Entscheidungen auf Grundlage von Analyseergebnissen getroffen werden und „richtige“ Analyseergebnisse nur durch eine adäquate Probenvorbehandlung erzielt werden können, muss allen Akteuren, die mit Laborleistungen befasst sind, die Bedeutung der Probenvorbehandlung bewusst gemacht und für eine angemessene Vergütung geworben werden. Dass dies keine Illusion sein muss, zeigen die Erfahrungen in den Niederlanden, wo generell die Probenvorbehandlung in Abhängigkeit von dem angelieferten Probenmaterial entsprechend dem angefallenen, fachlich notwendigen Aufwand vergütet wird.

Literatur

- [1] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) (1997): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln. – Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20. Erich Schmidt Verlag.
- [2] Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- [3] Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2001): Stadtbodenkartierung. Ergänzung der KA4 um stadtbodenspezifische Besonderheiten. – Korrigierter und ergänzter Stand April 2001. Hannover.

Anschrift der Autoren:

Dr. Vincent de Jong
ALcontrol BV
Steenhowerstraat 15, NL 3194 AG Hoogvliet
E-Mail: v.dejong@alcontrol.nl

Dr. Michael Kerth, Dr. Bernd Steinweg
Dr. Kerth + Lampe Geo-Infometric GmbH
Brüderstraße 8, 32758 Detmold
E-Mail: m.kerth@dr-kerth-lampe.de

Michaela Lichtner
ALcontrol Laboratories
Zweigniederlassung der ALcontrol B.V.
Dr.-Alfred-Herrhausen-Allee 20, 47228 Duisburg
E-Mail: m.lichtner@alcontrol.de