

4. Kriterien zur Einschätzung der Probennahmeunsicherheit

Zur Einschätzung der Unsicherheit der Probennahme wird nachfolgend der Ansatz des Qualitätsmanagements gewählt.

Im Bereich des Qualitätsmanagement orientieren sich Verfahren an Abläufen und/oder einer Norm. Prozesse richten sich an der Wertschöpfung aus. Ein Prozess ist ein Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, die Eingaben in Ergebnisse umwandelt (DIN ISO 9000:2000).

Bezüglich der Probenahme in ihrer Gesamtheit, d.h. vom Beginn der Planung bis zur entnommenen Probe, ist es möglich diese unter Einbeziehung möglicher Teilprozesse als Prozess zu definieren. Eine Probennahme, deren Fehler bestimmt werden kann und für die somit eine sichere Bewertung möglich ist, kann ein wertschöpfender Prozess sein.

4.1 Prozessdefinition

Wenn der Prozess Probennahme benannt wird, muss er präziser definiert werden. Zur weiteren Abgrenzung können Informationen zu Prozesseigentümer, Prozessverantwortlichem, Prozessziel, Schnittstellen, Ergebnissen, Bewertungsmöglichkeiten und den Prozesskunden herangezogen werden. Im angenommenen Fall einer Probennahme wird der Prozess folgendermaßen definiert, Tabelle 19:

Tabelle 19: Prozessdefinition einer Probennahme

Prozessname:	Probennahme
<i>Eigentümer</i>	<i>Probenehmer</i>
<i>Verantwortlicher</i>	<i>Auftraggeber / Projektleiter</i>
<i>Ziel</i>	<i>Repräsentative Probe</i>
<i>Ergebnis</i>	<i>Probe</i>
<i>Schnittstellen</i>	<i>Prozess „Probenvorbereitung“, Prozess „Analytik“, Prozess „Gutachtenerstellung“</i>
<i>Kunde</i>	<i>Auftraggeber / Labor</i>

Die Probennahme als komplexer Vorgang hängt von einer Vielzahl von unterschiedlichen Teilprozessen ab, die wiederum einen erheblichen Einfluss ausüben können.

Die Zielstellung ist es, möglichst umfassend die Abläufe zu erkennen, die einen direkten oder indirekten Einfluss auf die Probennahme haben und somit für die Entnahme einer repräsentativen Probe verantwortlich sind.

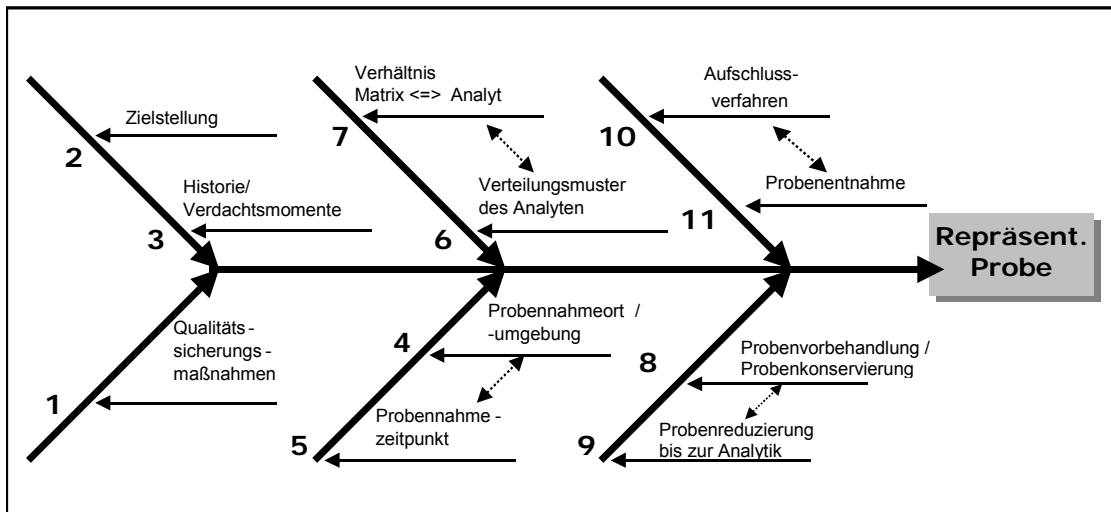


Abbildung 21: Wesentliche Einflussfaktoren bei der Probennahme von Feststoffen.

Die einzelnen Abläufe, die im Folgenden als Teilprozesse definiert werden, können sich gegenseitig beeinflussen, d.h. es können Wechselwirkungen bestehen. Die Ermittlung bzw. Auswertung der Informationen ist die Grundlage für die Erarbeitung einer Probennahmestrategie.

Eine geeignete Probennahmestrategie zur Erlangung einer repräsentativen Probe muss die elementaren Teilprozesse der geplanten Probennahme berücksichtigen (Abbildung 21). Es sind bei der Erstellung einer Probennahmestrategie zur Entnahme einer repräsentativen Probe die folgenden Punkte zu berücksichtigen (input):

- | | |
|----|--|
| 1 | Notwendige Qualitätssicherungsmaßnahmen |
| 2 | Festlegung der Zielstellung |
| 3 | Berücksichtigung von Verdachtsmomenten und Historie |
| 4 | Korrekturer Probennahmeort / -umgebung |
| 5 | Korrekturer Probennahmezeitpunkt |
| 6 | Verteilungsmuster des Analyten |
| 7 | Verhältnis Matrix – Analyt |
| 8 | Berücksichtigung von Probenvorbehandlung und notwendiger Probenkonservierung |
| 9 | Probenreduzierung bis zur Analytik |
| 10 | Bestimmung des Aufschlussverfahren |
| 11 | Festlegung des Entnahmeverfahren |

Die Berücksichtigung der Teilprozesse sollte in jedem Fall dokumentiert werden, damit eine nachträgliche Angabe der Unsicherheit der Probennahme möglich ist.

Wenn alle Informationen vorhanden sind um den Einfluss der Teilprozesse ausreichend zu berücksichtigen kann eine Probennahmestrategie entwickelt werden, aus welcher als Ergebnis die folgenden Punkte resultieren (output):

- Eine Arbeitsanweisung
- Ein Probennahmeprotokoll
- Bestimmung der Probennahmegeräte
- Auswahl der Probengefäße
- Repräsentative Festlegung des Probennahmerasters
- Benötigte Probenmenge
- Auswahl des Probennehmers

Je nach Aufgabenstellung müssen ggf. weitere Prozesse berücksichtigt werden. Jeder Punkt, der in die Probennahmestrategie einfließt, ist mit einer Unsicherheit behaftet. Diese Unsicherheiten sind je nach Zielstellung unterschiedlich zu gewichten.

Da die o.a. Teilprozesse einen erheblichen Einfluss auf die verschiedenen Fehler, z.B. ME, nehmen, folgt zunächst eine nähere Erläuterung:

Zu 1) Qualitätssicherungsmaßnahmen

Qualitätssicherungsmaßnahmen sollten schon während der Planung berücksichtigt werden, da sie eine Grundlage für eine nachvollziehbare und korrekte Ausführung sind. Durch Qualitätssicherungsmaßnahmen sollen Fehler wie Schadstoffverschleppungen zwischen den Probennahmen, Verwechslung der Proben (Beschriftung, Begleitscheine), falsche Dokumentation (z.B. von Bezeichnung, Koordinaten, meteorologische Bedingungen etc.) oder ungenügende messtechnische Rückführung¹ vermieden werden. Sofern möglich und sinnvoll ist eine messtechnische Rückführung zu gewährleisten. Die Grundlage für alle Qualitätssicherungsmaßnahmen ist eine nachvollziehbare Dokumentation.

Zu 2) Festlegung der Zielstellung

Die Zielstellung der Probennahme hängt zunächst von der Aussage ab, welche auf Grundlage der Probe(n) getroffen werden soll. Die Aufgabestellung einer Orientierenden Untersuchung unterscheidet sich beispielsweise deutlich von der einer Detailuntersuchung. Dementsprechend ist für die Planung einer Detailuntersuchung eine umfangreiche Datengrundlage notwendig während im Rahmen einer Orientierenden Untersuchung viele dieser Daten erst ermittelt werden.

¹ Unter messtechnischer Rückführung versteht man gemäß Eurachem/citac-guide (2000) die Eigenschaften eines Messergebnisses oder den Wert eines Standards, welche auf festgelegte Referenzstandards, üblicherweise nationale oder internationale, durch eine ungebrochene Kette von Vergleichen, die alle festgelegten Unsicherheiten besitzen, bezogen werden.

Entscheidend ist jedoch in beiden Fällen die Sicherheit, mit der die Aussage getroffen werden soll. Je höher die notwendige Genauigkeit sein muss, desto umfangreicher muss die notwendige Datengrundlage sein. Die Festlegung der Zielstellung hat neben dem Integrationsfehler und Materialisierungsfehler einen Einfluss auf den Selektionsfehler.

Zu 3) Berücksichtigung von Verdachtsmomenten und Historie

Zur Festlegung der Probennahmepunkte sollten unbedingt eventuelle Verdachtsmomente und die Historie des Probennahmegutes berücksichtigt werden. Dadurch ist oft eine gezieltere Probennahme möglich und eventuelle Anomalien können strategisch eingeplant werden. Eine Probennahme ohne solche Hintergrundinformationen kann in Abhängigkeit von der Zielsetzung mit einem sehr hohen Fehler behaftet sein, beispielsweise beim Auffinden von „Hot spots“.

Zu 4) Festlegung des Probennahmeortes

Bei der Festlegung des Probennahmeortes ist es wichtig die Umgebung zu berücksichtigen. Die Umgebung kann vielseitig auf die Probennahme einen Einfluss ausüben, z.B. durch Beeinträchtigungen durch geogene Schadstoffe, Staub aus der Umgebungsluft, besonders schwierige Arbeitsbedingungen oder erschwerte Zugänglichkeit. Der Probennahmeort muss unbedingt repräsentativ bezüglich der Teilprozesse 6 und 7 sein, denn ein ungeeigneter Probennahmeort hat einen entscheidenden Einfluss auf die Repräsentativität.

Zu 5) Festlegung des Probennahmezeitpunktes

Für die Festlegung des Probennahmezeitpunktes müssen bei der Probennahme von Feststoffen, je nach Aufgabenstellung, die Jahreszeit, die Tageszeit, die Probennahmedauer, die Vegetationsperioden und/oder die Witterungsbedingungen berücksichtigt werden. Ein ungeeigneter Probennahmezeitpunkt hat Auswirkungen auf den Materialisierungsfehler (z.B. durch den Feuchtegehalt einer Probe) und den Integrationsfehler (z.B. durch temporäre Konzentrationsschwankungen).

Zu 6) Verteilungsmuster des Analyten

Kenntnisse über das Verteilungsmuster des Analyten sind wichtig zur Festlegung eines geeigneten Probennahmerasters. Schadstoffe können in homogener oder heterogener Verteilung vorliegen und die Schadstoffe können mit oberflächen- oder volumenproportionaler Bindung vorliegen, beides hat Einfluss auf den Integrationsfehler. Um

die Varianz der Probenzusammensetzung zu verringern kann grundsätzlich die Probenmenge erhöht oder die Größe der Proben erhöht werden.

Zur Bestimmung der notwendigen Probenmenge in Abhängigkeit von der Aussagesicherheit sind Probennahmemodelle vorhanden, welche teilweise spezifische Besonderheiten berücksichtigen.

Zu 7) Verhältnis Matrix – Analyt

Die Berücksichtigung des Verhältnisses von der Matrix des zu beprobenden Mediums zum vorgesehenen Analyten ist neben der Korngröße notwendig zur korrekten Bestimmung der notwendigen Probenmenge. Neben der Berücksichtigung der Volumenanteile ist auch zu beachten in welcher Bindungsform bzw. welchem Milieu die zu ermittelnden Parameter vorliegen. Es bestehen beispielsweise zwischen organischen und anorganischen Matrizes bzw. Analyten teilweise erhebliche Unterschiede bezüglich der notwendigen Probenmasse.

Die korrekte Berücksichtigung des Verhältnisses von Matrix zum Analyten ist notwendig um den Integrationsfehler zu minimieren.

Zu 8) Berücksichtigung von Probenvorbehandlung und notwendiger Probenkonservierung

Bei der Probenvorbehandlung und Probenkonservierung gibt es zahlreiche Möglichkeiten, wie eine Probe verändert werden kann. Von der Verflüchtigung von Schadstoffen bei zu langer offener Zwischenlagerung oder beim Umfüllen bis zur unsachgemäßen Kennzeichnung (Lösungsmittel in Klebstoffen und Filzstiften) oder unsachgemäßem Transport (keine Kühlung, Lichteinfall, ungesichert) sind viele Möglichkeiten denkbar.

Auch die Auswahl ungeeigneter Probengefäße kann z.B. durch eine Veränderung der Probe durch das Material des Probengefäßes (Adsorption, Resorption o.ä.), durch Rückstände (Unreinheiten) oder durch atmosphärische Einflüsse (z.B. Oxidation bei Luftzutritt, photolytische Zersetzung bestimmter Schadstoffe durch Sonnenlicht, Veränderung durch mikrobiologische Aktivität) die Probe beeinflussen. Die Konservierung ist bei organischen Substanzen i.d.R. bedeutender als bei anorganischen Substanzen.

Eine korrekte Probenvorbehandlung und Probenkonservierung sind Voraussetzung für einen geringen Materialisierungsfehler.

Zu 9) Probenreduzierung bis zur Analytik

Die Probenreduzierung kann in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung einen bedeutenden Einfluss auf das Ergebnis der Probennahme haben. Sofern eine große

Probenmenge entnommen wurde und zur Untersuchung nur eine geringe Probenmenge benötigt wird, ist eine Probenreduzierung unumgänglich. Eine Probenreduzierung am Ort der Probennahme ist daher gründlich zu planen um den Materialisierungsfehler gering zu halten.

Es ist bei der Planung zu beachten, dass für Proben zur Untersuchung von flüchtigen Substanzen eine Probenreduzierung oft nicht möglich ist und daher geeignete Einzelproben entnommen werden müssen.

Zu 10) Bestimmung des Aufschlussverfahrens

Die Festlegung eines geeigneten Aufschlussverfahrens ist notwendig um die geforderte Qualität der Proben zu gewährleisten und einen weiteren Einflussfaktor des Integrationsfehlers zu minimieren. Das Aufschlussverfahren hängt beispielsweise davon ab, ob gestörte oder ungestörte Proben gefordert sind. Das Aufschlussverfahren muss auf die Matrix des zu beprobenden Mediums abgestimmt sein und Punkte wie Korngröße, Varianz und Bindungsformen berücksichtigen.

Durch die Auswahl falscher Aufschlussgeräte kann z.B. durch Benzindämpfe oder Abgase der Probennahmegeräte oder Fahrzeuge (z. B. durch BTEX im Benzin des Aggregats, PAK in Auspuffabgasen, LHKW in Kaltreinigern oder Unterbodenschutz) die Probe beeinträchtigt werden.

Es muss ausgeschlossen werden können, dass Querkontaminationen entstehen.

Zu 11) Festlegung des Entnahmeverfahrens

Die Festlegung des Entnahmeverfahrens beinhaltet die Bestimmung von Einzel- oder Mischprobe, die Beprobungstiefe, die Anzahl der Entnahmen etc. Es werden konkrete Vorgaben für die Durchführung der Probennahme festgelegt. Die Entscheidung über Einzel- oder Mischprobe, die Anzahl der Entnahmen und die Beprobungstiefe betreffen unmittelbar die Repräsentativität der Probe und sollten mit einer hohen Priorität versehen werden. Auch eine eventuelle Querkontamination, z.B. durch Abrieb von Probennahmewerkzeugen muss ausgeschlossen werden können. Die Festlegung eines ungeeigneten Entnahmeverfahrens kann einen erheblichen Einfluss auf den Integrationsfehler haben.

Die betrachteten Teilprozesse machen deutlich, dass in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung eine unterschiedliche Wichtung vorgenommen werden muss. Es fällt auf, dass zum Einen die zu beprobende Matrix und zum Anderen die Eigenschaften der Schadstoffe eine große Schnittmenge zu den anderen Teilprozessen haben und diese

beeinflussen. Sie haben den größten Einfluss auf die Unsicherheit. Für eine strategische Herangehensweise bei der Probennahme ist daher die Berücksichtigung dieser Teilprozesse besonders wichtig.

4.2 Homogene Feststoffe

Bei der Probennahme homogener Feststoffe ist die Wahrscheinlichkeit eine repräsentative Probe zu erhalten bei einer strategischen Probennahme ebenso groß wie bei einer zufälligen Probennahme. Es ist hierbei zwischen der Homogenität des zu untersuchenden Materials und der Homogenität der vorliegenden oder vermuteten Schadstoffe zu unterscheiden. Liegen in beiden Fällen tatsächlich homogene Bedingungen vor, kommt einigen Teilprozessen eine geringere Bedeutung zu und der Integrationsfehler wird vernachlässigbar klein.

Homogene Bedingungen können bei anorganischen Materialien und Schadstoffen vorliegen. Beim Vorhandensein organischer Materialien und/oder Schadstoffen stellen sich hingegen i.d.R. heterogene Bedingungen ein.

Probennahme für anorganische Untersuchungen

Bei der Probennahme von homogenen Feststoffen für anorganische Untersuchungen kommt wesentlichen Teilprozessen eine untergeordnete Bedeutung zu. Das Verhältnis von Matrix zum Analyten und das Verteilungsmuster müssen nicht eingehender betrachtet werden und die Auswahl des Probennahmemusters kann bezüglich der Anordnung der Probennahmepunkte vernachlässigt werden, ebenso kommen dem Probennahmeort und dem Probennahmezeitpunkt nur eine untergeordnete Bedeutung zu. Auch durch ungeeignete Aufschluss- oder Entnahmeverfahren würde „nur“ ein systematischer Fehler entstehen und die Daten wären für eine korrelative Aussage eventuell noch zu gebrauchen.

Die Unsicherheit bei der Probennahme von homogenen Feststoffen für anorganische Untersuchungen ist bei gleicher Probenanzahl deutlich geringer als bei heterogenen Feststoffen. Aufgrund der bisherigen Veröffentlichungen (Lamé et. al. 2000, Kern 2005), sollte der Fehler mit $\leq 5\%$ angenommen werden.

Probennahme für organische Untersuchungen

Bei der Probennahme von homogenen Feststoffen für organische Untersuchungen kommen den beschriebenen Teilprozessen unterschiedliche Bedeutungen zu. Während das Verhältnis der Matrix zum Analyten die Unsicherheit im Allgemeinen wenig beeinflusst muss das Verteilungsmuster des Analyten eingehender betrachtet werden. Die Besonderheit organischer Stoffe ist, dass sie häufig über komplexere Bindungsformen verfügen und daher

andere Verteilungsformen als anorganische Stoffe aufweisen. Weiterhin unterliegen organische Verbindungen einem größeren zeitlichen Einfluss, d.h. eine Veränderung der vorliegenden Verbindungen nimmt einen geringeren Zeitraum ein. Der Integrationsfehler ist bei der Probennahme für organische Untersuchungen höher einzuschätzen, da durch organische Verbindungen eine höhere Mobilität vorhanden ist. Weiteren Teilprozessen, wie dem Probennahmeort, dem Probennahmezeitpunkt und der Probenkonservierung kommt ebenfalls eine größere Bedeutung zu. Es ist also eine umfangreiche und gründliche Planung notwendig, zu welcher bestimmte Grundkenntnisse vorhanden sein müssen.

Die vorhandenen Untersuchungen zum vorliegenden Thema haben überwiegend eine Probennahme zur anschließenden Bestimmung von anorganischen Parametern zum Inhalt, weshalb eine allgemeine Einschätzung der Unsicherheit bei der Probennahme von homogenen Feststoffen für organische Untersuchungen sehr schwierig ist. Anhand der vorliegenden Literatur (Kurfürst 2003, Neeße 1997, Kateman und Müskens 1978) wird der Fehler auf 5 bis 20 % geschätzt.

4.3 Heterogene Feststoffe

Eine sinnvolle Voraussage zur Heterogenität von Untersuchungsfläche kann nur gemacht werden, wenn bekannt ist, welche Bodeneigenschaften einen Einfluss auf die Heterogenität haben. Als Grundsatz gilt: „Je größer die vorhandene Heterogenität, desto größer ist der Integrationsfehler“. Um diesen zu minimieren sind bei der Probennahme inhomogener Feststoffe zusätzliche Teilprozesse zu berücksichtigen.

Probennahme für anorganische Untersuchungen

Das Verhältnis der Matrix zum Analyten ist unter heterogenen Bedingungen von besonderer Bedeutung. Da der Gesamtfehler der Probennahme exponentiell mit der Probenmasse abnimmt, ist die Ermittlung der repräsentativen Probenmenge bei heterogenen Bedingungen der entscheidende Faktor um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Aufgrund der Komplexität beim Vorliegen heterogener Bedingungen sollte die Probennahmestrategie auf statistischen Modellen beruhen. Dies gewährleistet nachvollziehbar das der Integrationsfehler in einer akzeptablen Größenordnung bleibt. Weiteren Teilprozessen, wie dem Verteilungsmuster des Analyten, dem Probennahmeort, dem Aufschlussverfahren, dem Entnahmeverfahren, dem Probennahmezeitpunkt und dem Probennahmeort kommt ebenfalls eine größere Bedeutung als bei homogenen Bedingungen zu.

Für eine allgemeine Einschätzung der Unsicherheit bei der Probennahme von heterogenen Feststoffen für anorganische Untersuchungen sollte aufgrund der vorhandenen

Veröffentlichungen (Lamé und Defize 1993, Endres-Beckhäuser und Breiter 2002) der Fehler in einer Größenordnung von 20-50 % angenommen werden.

Probennahme für organische Untersuchungen

Bei der Probennahme für organische Untersuchungen unter heterogenen Bedingungen kommt dem Verhältnis der Matrix zum Analyten und dem Verteilungsmuster des Analyten gleichermaßen eine besondere Bedeutung zu.

Durch die Besonderheit organischer Stoffe (siehe oben) ist dem Einfluss des Integrationsfehlers besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Der Materialisierungsfehler kann bei korrekter Durchführung der Probennahme vernachlässigt werden, sofern eine fachlich korrekte Probennahmestrategie vorliegt.

Weiteren Teilprozessen, wie dem Probennahmeort, dem Probennahmezeitpunkt und der Probenkonservierung kommt ebenfalls eine größere Bedeutung zu.

Es liegen bisher nur vereinzelte Betrachtungen zum möglichen Einfluss des Vorhandenseins organischer Substanz auf den Integrationsfehler vor. Die vorhandenen Untersuchungen (Neeße 1997) zeigen, dass bei einer Vorgehensweise entsprechend bisher vorliegender Empfehlungen zur Probennahme von Feststoffen ein relativer Fehler zwischen 9 % und 900 % vorkommen kann. Die hier zitierten Ergebnisse von über 100 % basieren auf computergestützten Auswerteverfahren und beschreiben eigentlich die Abweichungen vom wahren Wert. Die Größenordnung des Fehlers kann auf den Zusammenhang von Bindungsform und Probenmenge zurückgeführt werden. Die Unsicherheit von 9% bei adsorptiven Schadstoffbindungen stimmt in der Größenordnung mit vergleichbaren Untersuchungen (Lamé et.al. 2000) mit anorganischen Schadstoffen überein. Die Berechnungen für Schadstoffanreicherungen auf einer Organik-Leichtfraktion zeigen, dass eine deutlich höhere Probenmenge erforderlich ist. Diesem Punkt ist besondere Bedeutung beizumessen, da er in vielen der derzeit vorhandenen und gültigen Vorgaben nur unzureichend oder gar nicht berücksichtigt wird, wodurch ein prognostizierter Fehler von 90 % auftreten kann.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Unsicherheit einer Probennahme von einer Vielzahl von Teilprozessen beeinflusst wird. Während viele der betrachteten Teilprozesse durch eine gründliche Planung und Durchführung der Probennahme minimiert werden können, ist bei der Untersuchung der Teilprozesse „Verhältnis des Analyten zur Matrix“ und „Verteilungsmuster des Analyten“ in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung ein deutlich höherer Aufwand zur Minimierung erforderlich.

Die Unsicherheit einer Probennahme steigt einerseits mit zunehmender Heterogenität. Dieser mögliche Fehler kann kompensiert werden, indem die Probenmenge entsprechend erhöht wird. Andererseits wird die Unsicherheit einer Probennahme von den vorliegenden Bindungseigenschaften der zu untersuchenden Substanz maßgeblich beeinträchtigt. Dieser mögliche Fehler kann durch eine Anpassung der Probenmenge verringert werden. Für die angemessene Berücksichtigung der vorgenannten Punkte stehen rechnerische und computersimulatorische Möglichkeiten zur Verfügung.

Die Unsicherheit einer Probennahme bei vollständig homogenen Bedingungen ist i.d.R. sehr gering, da ein zufälliger Fehler praktisch ausgeschlossen wird und „nur“ ein systematischer Fehler auftreten kann. Als homogen werden oft Systeme angenommen, die nur im Hinblick auf eine Eigenschaft, z.B. die Korngröße, homogen sind während sie im Bezug auf andere Eigenschaften, wie beispielsweise die Farbe, inhomogen sind. Diese Annahme wird gemacht, damit trotz der Komplexität eines meist dreiphasigen Stoffsystems ein praktikabler Ansatz zur Bestimmung der Probennahmeunsicherheit vorhanden ist. Wenn die Homogenität bezüglich einer Eigenschaft angenommen wird muss geprüft werden, ob eventuell vorhandene Inhomogenitäten bei anderen Eigenschaften durch eventuelle Wechselwirkungen tatsächlich keinen Einfluss auf die angenommene Homogenität haben. Nur unter dieser Voraussetzung kann ein Stoffsystem tatsächlich als homogen definiert werden.

Weiteren Teilprozessen kommt mit zunehmender Heterogenität oder komplexeren Bindungsformen ebenfalls ein höherer Stellenwert zu. Bei einer hohen Probenmenge kommt beispielsweise der Probenreduzierung bis zur benötigten Analysenmenge eine besondere Bedeutung zu, denn die Probenmenge kann mehrere Kilogramm betragen während für die eigentliche Analyse oft nur wenige Gramm benötigt werden. Weiteren Teilprozessen, wie der Auswahl des Aufschlussverfahren, des Entnahmeverfahren, dem Probennahmeort, dem Probennahmezeitpunkt und der Probenkonservierung muss bei der Planung der Beprobung heterogener Feststoffsysteme ebenfalls eine größere Aufmerksamkeit entgegengebracht werden.

Sofern bei der Planung der Probennahmestrategie alle Teilprozesse, welche einen Einfluss auf die Unsicherheit der Probennahme haben, erkannt und angemessen berücksichtigt werden, kann von einem sehr geringen Probennahmefehler ausgegangen werden. Da die Berücksichtigung aller Einflussfaktoren bei komplexen Aufgabenstellungen sehr aufwendig ist, sind in der Praxis wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen. Die Probennahmestrategie wird daher möglicherweise nicht alle Teilprozesse ausreichend berücksichtigen, wodurch sich die Unsicherheit der Probennahme erhöht. Diese Arbeit hat

gezeigt, dass die Probennahmestrategie in der Praxis oft nicht ausreichend begründet und dokumentiert wird und somit die Nachvollziehbarkeit nicht gegeben ist. Eine nachträgliche Angabe der Unsicherheit der Probennahme ist daher in der Praxis meist nicht möglich. Umso wichtiger ist die gründliche und nachvollziehbare Planung, bei welcher die Unsicherheit der Probennahme als Bestandteil berücksichtigt wird.

Eine pauschale Aussage zur Unsicherheit bei der Probennahme von heterogenen Feststoffen kann aufgrund der aufgeführten Argumente nicht getroffen werden. Die Unsicherheit einer Probennahme von heterogenen Feststoffen muss im jeweiligen Einzelfall betrachtet werden.

Unter der Annahme, dass eine Aussage bezüglich einer Schadstoffverteilung auf Grundlage der gleichen Anzahl von Proben für heterogene und homogene Feststoffe getroffen werden soll, wird die Aussage zu den homogenen Stoffen i.d.R. mit einem geringeren Fehler behaftet sein.

4.4 Bodenluftprobennahme

Eine verbreitete Methode zur Eingrenzung von Bodenkontaminationen ist die Untersuchung von Bodenluftproben. Die im Boden enthaltene Luft kann neben den Hauptkomponenten Stickstoff (N), Sauerstoff (O) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) auch weitere Gase wie Methan (CH₄), Kohlenmonoxid (CO), Mercaptane, Schwefelwasserstoff (H₂S), Ammoniak (NH₃), Helium (He), Neon (Ne), Argon (Ar), Xenon (Xe), Radon (Rn) usw. enthalten. Außerdem können leichtflüchtige organische Verbindungen oder anorganische Dämpfe (Quecksilber) in der Bodenluft vorhanden sein. Insbesondere bei der Untersuchung von Bodenkontaminationen mit leichtflüchtigen organischen Substanzen werden Bodenluftproben auf direkte oder indirekte Art und Weise untersucht um beispielsweise den Kontaminationsherd einzugrenzen oder den Erfolg einer Sanierung aufzuzeigen.

Eine Anwendungsvoraussetzung ist, dass die zu ermittelnden Substanzen eine ausreichend hohe Flüchtigkeit in der Bodenluft aufweisen. Solche Substanzen sind besonders in der Stoffgruppe der leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen der Methan-, Ethan- und Ethenreihe zu finden. Andere, schwererflüchtige Substanzen, wie z.B. Naphtalin, werden nur erfasst, wenn sie in höheren Konzentrationen vorliegen.

Sofern die Möglichkeit einer Bodenluftkontamination besteht und Schäden oder Gefahren zu befürchten sind (beispielsweise in oder nahe bei Gebieten mit Deponien, alluvialem Boden, Lösemittel- oder Treibstofflagern, Bergbau, mit Boden bedecktem Hafenschlick und/oder Torf), ist es erforderlich, die Zusammensetzung und das Migrationspotential der Bodenluft zu bestimmen. Der Abbau organischer Substanz kann sowohl zu Methan und

Kohlenstoffdioxid als auch, in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen und der Art des Materials, zu einer Reihe von Spurengasen führen. Gase können auch in Lösung durch migrierendes Deponiesickerwasser und das Grundwasser transportiert werden.

Die gewonnenen Messdaten sind relative Ergebnisse und nicht für eine quantitative Aussage geeignet. Die Messergebnisse können beispielsweise durch Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck, Mindestentnahmetiefe u.a. beeinflusst werden. Der Anwendungsbereich ist auf Probennahme in Lockergestein begrenzt. Konkrete Hinweise zur Durchführung von Bodenluftprobennahmen für die Untersuchung von leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffverbindungen gibt die VDI-Richtlinie 3865, Teil 1 (1992) und 2 (1998). Sie weist ausdrücklich darauf hin, dass es sich bei den Bodenluftmessungen um qualitative und orientierende Voruntersuchungen, wie etwa über die Schadensquelle und die relative Verteilung der Schadstoffe. Eine quantitative Ermittlung von Boden- und Grundwasserverunreinigungen kann nur durch weiterführende Analysen erfolgen.

Weiterführende Hinweise geben die „Anforderungen an Probennahme, Probenvorbereitung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften“ (2001), welche die Bodenluftprobennahme auf die Bereiche

- Ermittlung der Art eines Schadens (Substanzen; Größenordnungen der Konzentrationen)
- Lokalisierung von Eintragsstellen bzw. Schadensgrenzen, Z.B. durch
 - gezielte Erkundung auf grund vorliegender Erkenntnisse über Nutzungsgeschichte und Handlungsabläufe oder
 - Untersuchung von Flächen ohne konkrete Hinweise auf mögliche Eintragsstellen (Rasteruntersuchung)
- Übersicht über die Ausbreitung des Schadens in Tiefe und Fläche
- Kartierung von Grundwasserverunreinigungen

eingrenzt. Diese unterschiedlichen Anwendungsbereiche erfordern die Bestimmung von Bodenluft in einem großen Konzentrationsintervall, wofür i.d.R. auch unterschiedliche Probennahmeverfahren erforderlich sind. Die VDI-Richtlinie 3865, Teil 2 (1998) und die E DIN ISO 10381-7 (2004) stellen fünf verschiedene Probennahmeverfahren für unterschiedliche Anwendungsbereiche vor (vgl. Abbildung 22).

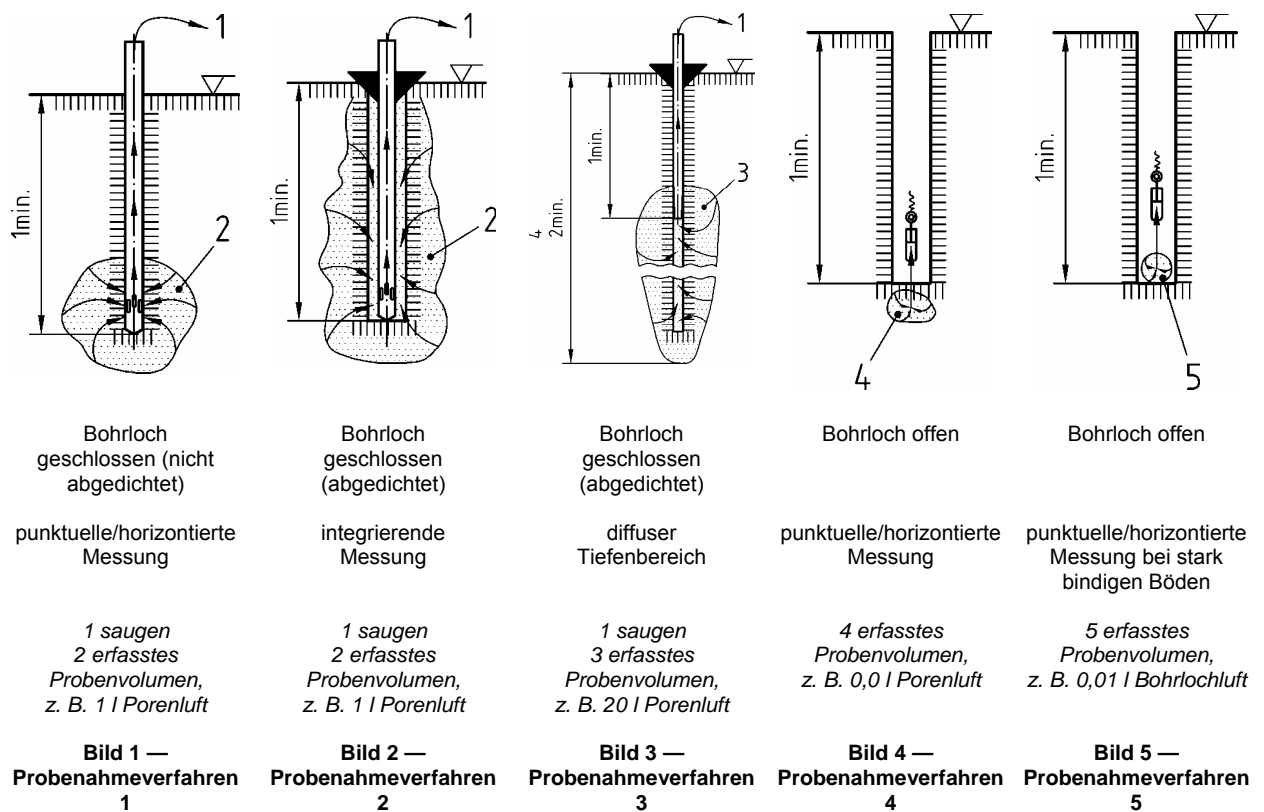


Abbildung 22: Schema der in der E DIN ISO 10381, Teil 7 (2004) beschriebenen Bodenluftprobennahmeverfahren.

Die „Anforderungen an Probennahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften“ (2001) geben weitere Hinweise zur Vorgehensweise. Bevorzugt sollen demnach Direktmessungen unter Verwendung von Glassammelgefäßen angewendet werden (Septumglas, Pasteur-Pipette). Zur Erfassung von geringen Konzentrationsbereichen wird auf Verfahren nach dem Anreicherungsprinzip durch z.B. Adsorption auf Aktivkohle oder XAD-Harz verwiesen. Es wird angemerkt, dass bei einer orientierenden Untersuchung in der Regel Anreicherungsverfahren einzusetzen sind, da die Höhe der auftretenden Konzentrationen sowie ihre Schwerpunkte meist noch nicht bekannt sind und die Konzentrationen über kurze Entfernung stark schwanken können. Weiterhin wird die Anwendung von integrierenden Verfahren für Bundesliegenschaften ausgeschlossen.

Tabelle 20: Gegenüberstellung der Direkt- und Anreicherungsverfahren nach LABO (2002)

Direktverfahren				
	Pasteurpipette	Headspace-Gläschen	Gasmaus	GC Vor-Ort-Analytik
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - relativ einfaches Verfahren - Bodenluftprobe ist in der Stoffzusammensetzung mit der Bodenluft in situ identisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Headspacegläschen vor Abfüllung geschlossen, dadurch keine Kontamination vor Probennahme - gleichzeitige Analyse der Deponiegase bedingt möglich - Bodenluftprobe ist mit der Bodenluft in situ identisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Mehrfachanalyse möglich - durch größere Probenmenge auch Deponiegase analysierbar, i.d.R. Hauptgase und Spurenstoffe - Bodenluftprobe ist mit der Bodenluft in situ identisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Ergebnis liegt sofort vor - Anzahl der Proben für Laboruntersuchung kann, wenn nötig, reduziert werden - Möglichkeit der sofortigen Eingrenzung von Schadensherden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - evtl. zu geringes Probenvolumen - nur einmalige Analyse möglich - Veränderungen des Chemismus der Bodenluft beim Umfüllen der Probe möglich - Fremdluftzutritt - Schwierige Handhabung der Pipetten (Glasbruch) 	<ul style="list-style-type: none"> - evtl. zu geringes Probenvolumen - Veränderung des Chemismus der Bodenluft beim Umfüllen der Proben möglich - Fremdluftzutritt 	<ul style="list-style-type: none"> - Lagerzeit nur beschränkt möglich - Adsorptionseffekte sowie Kondensationseffekte an der Gefäßinnenwand möglich - relativ aufwändig 	<ul style="list-style-type: none"> - Apparativer Vor-Ort-Aufwand ist größer - Eingeschränkte Genauigkeit gegenüber Laborbestimmung

Anreicherungsverfahren			
	Tenax	Aktivkohle	XAD-Harz
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Mehrfachanalyse möglich - niedrigere Nachweisgrenze durch Anreicherung 		
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Ad- und Desorption der einzelnen Verbindungen der Probe evtl. nicht vollständig 	<ul style="list-style-type: none"> - Ad- und Desorption einzelner Verbindungen der Probe evtl. nicht vollständig - unvollständige Extraktion möglich 	
	Verdrängungsreaktionen bei der Adsorption		

Es werden detaillierte Hinweise zur technischen Ausrüstung, zur Probennahmestrategie und zur Durchführung der Probennahme gegeben. Weiterhin werden für Probennahmeprotokolle bzw. –dokumentation und Proben-transport und –konservierung gegeben.

Tabelle 21: Allgemeine Charakterisierung der Bodenluftprobennahmeverfahren nach VDI 3856, Teil 2 (1998)

	Probennahme mit Anreicherung			Probennahme ohne Anreicherung	
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Messziel	Punkt- bzw. horizontorientierte Messung	Messung integrierend über vorgegebene Bohrlochlänge	Messung über einen größeren diffusen Tiefenbereich	Punkt- bzw. horizontorientierte Messung im Bohrlochtiefsten	Siehe Variante 1 und 2
Probennahmeprinzip	Probenentnahme bei mittlerem Unterdruck; Anreicherung an Feststoffadsorbens bzw. Messung mit direktanzeigendem Prüfröhrchen	Probenentnahme bei niedrigem Unterdruck; Anreicherung an Feststoffadsorbens bzw. Messung mit direktanzeigendem Prüfröhrchen	Probenentnahme bei relativ hohem Unterdruck; Anreicherung an Feststoffadsorbens	Probennahme eines sehr kleinen Probenvolumens mittels einer Spritze bei sehr kleinem Unterdruck	Siehe Variante 1 und 2 (Adsorption), jedoch wird die Bodenluftprobe entweder direkt oder über einen Zwischenschritt (Gassammelgefäß, Variante 4) einem GC zur Analyse zugeführt
Erfasstes Bodenvolumen	Näherungsweise kugelförmiges kleines Volumen aus dem Porenraum um die Ansaugöffnung der Sonde	Näherungsweise zylindrisches Volumen um den Sondenschaft über die gesamte Länge des Bohrloches, ggf. durch Sperre (z.B. Packer) eingrenzbar, sowie aus dem nicht näher zu definierenden Porenvolumen	Diffuses Volumen aus dem Porenraum der frei stehenden Bohrlochwandung	Näherungsweise kugelförmiges, sehr kleines Volumen um die Sondenspitze aus einem nicht näher zu definierenden Porenvolumen unter dem offenen Bohrloch	Siehe Variante 1 und 2 (Adsorption)
Randbedingungen	Außendurchmesser der Entnahmesonde größer oder gleich dem Durchmesser des Bohrloches, abdichtend; Entnahmesonde bis mind. zum Bohrlochtiefsten eingeführt	Außendurchmesser der Entnahmesonde kleiner als der Durchmesser des Bohrloches, innerhalb des Bohrloches in variabler Höhe oder am Kopf gegenüber der Außenluft abgedichtet; Entnahmesonde bis zur frei gewählten Tiefe eingeführt	Außendurchmesser der Entnahmesonde größer oder gleich dem Durchmesser des Bohrloches, abdichtend; Entnahmesonde nicht bis zum Bohrlochtiefsten eingeführt	Außendurchmesser der Entnahmesonde kleiner als der Durchmesser des Bohrloches, Bohrloch gegenüber der Außenluft nicht abgedichtet, Sondenspitze idealerweise in den Boden eingedrückt (1 bis 5 cm)	Siehe Variante 1 und 2 (Adsorption)

Als mögliche Fehlerquellen sind insbesondere die Ort der Probennahme, Technische Ausstattung, Bodenluftsonden, Pumpe, Probengefäße, Verbindungsschläuche und Probentransport und –konservierung zu nennen.

Die E DIN ISO 10831-7 (2004) behandelt insbesondere Probennahmeverfahren für Permanentgase der Bodenluft, für Deponiegase und für flüchtige organische Verbindungen.

Als Entnahmetiefe für eine routinemäßige Bodenluftüberwachung wird 1,0 m unter Geländeoberfläche empfohlen. Der Mindestabstand zur Oberfläche sollte 0,5 m nicht unterschreiten, da ein Einfluss atmosphärischer Luft darüber nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Auf die Problematik bei Bodenfrost und wassergesättigten Böden wird hingewiesen.

Im Anhang C der E DIN ISO 10381-7 (2004) werden Hinweise zur Strategie der Bodenluftuntersuchungen gegeben. In Abhängigkeit von der Art der Kontamination werden bei der Untersuchung von Bodenluft verschiedene Verfahren angewendet; bei der Probennahmestrategie sollten jedoch die folgenden allgemeinen Aspekte berücksichtigt werden.

Die Probennahmestrategie für die Untersuchungen im Feld sollte Folgendes berücksichtigen:

- a) die Ziele der Untersuchung und die Möglichkeit der Aufteilung des Standortes in Zonen;
- b) den Ort, die Anordnung und die Anzahl der Probennahmepunkte;
- c) die Tiefe, in der die Proben entnommen werden sollten, die zu entnehmenden Proben und alle Anforderungen an die Messung;
- d) die erforderlichen Analysen und die Tatsache, ob eine Messung am Standort angemessen und erforderlich ist;
- e) die Methodologie, nach der die Proben entnommen, gelagert und konserviert werden sollten, wobei jede außerhalb des Standortes durchzuführende Analyse zu berücksichtigen ist;
- f) alle Sicherheitsmaßnahmen, die zum Schutz des Personals und der Umgebung erforderlich sind.

Zusätzliche standortspezifische Faktoren (beispielsweise die Größe und Topographie des Standortes, die Tiefe des Grundwasserspiegels und die Strömungsrichtung des Grundwassers sowie jegliche physikalischen Hindernisse) sollten festgestellt werden.

Bei der Festlegung der Probennahmestrategie sollte die potentielle Inhomogenität der Schadstoffverteilung berücksichtigt werden, da dies Einfluss auf die ausgewählten Probennahmepunkte und die Anzahl von entnommenen Proben hat.

Bei der Probennahmestrategie sollte außerdem die Möglichkeit der Erzeugung von Migrationswegen berücksichtigt werden.

Die Probennahmeorte sollten von Markierungspunkten aus, die vorzugsweise auf ein Vermessungsraster und einen Bezugspunkt bezogen sind, präzise sowohl in der Lage als auch der Höhe eingemessen werden. Bei der Auswertung von Daten aus Sondierlöchern, aus Bohrlöchern und Überwachungsmessstellen sollten die durchdrungenen Schichten berücksichtigt werden, da durch Verschmieren während des Errichtens der Bohrlöcher die Porosität des Bodens reduziert und die Gasmigration beeinträchtigt werden kann.

Für Untersuchungen auf Gase, die sich aus der Zersetzung organischer Substanz ergeben, werden üblicherweise Überwachungsmessstellen eingesetzt, um die Überwachung am Standort mit transportablen Geräten und die Entnahme von Proben für die Laboranalyse zu ermöglichen.

Die Lage der Überwachungsmessstellen sollte auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Informationen und einer begrifflichen Hypothese des Standortes sowie der Ziele der Untersuchung bestimmt werden. Die Lage der Überwachungsmessstellen kann gezielt sein (beispielsweise, wenn in einem bestimmten Gebiet des Standortes die Erzeugung von Deponiegas vermutet wird) oder ungezielt (wenn unter einem Standort beispielsweise alluviale Ablagerungen vorhanden sind). Nachfolgende Überwachungsmessstellen können dann auf der Grundlage der Informationen angeordnet werden, die bei diesen anfänglichen Errichtungen erhalten wurden.

Bei der Anordnung der Gasüberwachungsmessstellen sollte die Richtung einer möglichen Migration, sowohl vertikal als auch seitlich, berücksichtigt werden (begriffliche Hypothese). Sofern dies relevant ist, sollten durch den Menschen erzeugte Strukturen (einschließlich Versorgungsleitungen und Gebäudefundamente) berücksichtigt werden, die die Gasmigrationswege beeinflussen könnten.

Der Einbau von Überwachungsmessstellen sollte in Bohrlöchern bzw. maschinell erzeugten Bohrlöchern erfolgen. Der Einbau in einer Probegrube mit anschließender Rückfüllung ist aufgrund der Störungen und der Lüftung des Bodens sowie der Unsicherheit hinsichtlich der erforderlichen Dauer für das Wiederherstellen der ursprünglichen Bodenbedingungen vor der Fortsetzung der Überwachung nicht zufrieden stellend.

Die Messungen der Bodenluftatmosphäre in mit Stäben erzeugten Löchern unterliegen wesentlichen Schwankungen, die von der Porosität des Bodens und den Wetterbedingungen abhängen. Daher sollten die Ergebnisse dieser Art von Messungen mit Vorsicht interpretiert werden. Ein negatives Ergebnis bedeutet nicht notwendigerweise, dass ein bestimmtes Problem nicht vorliegt, da die Gase oder flüchtigen Substanzen in größerer Tiefe vorhanden sein können. Die Konzentrationen können sich auch erhöhen, wenn die Bodenluft eingeschlossen ist, wie dies beispielsweise in nassem Boden der Fall ist, in dem die Bodenporen an der Geländeoberfläche blockiert werden. Hier ist das Anlegen von tiefergehenden Überwachungsstellen in Bohrlöchern vorzuziehen.

Die Geologie des Gebietes, die Gefahr der Migration und die Emissionstiefe sollten bei der Bestimmung der Tiefe der Gasüberwachungsmessstellen berücksichtigt werden.

4.4.1 Flüchtige organische Verbindungen (VOCs)

Kleinräumig entsteht ein Gleichgewicht zwischen der flüssigen und der gasförmigen Phase der vorliegenden flüchtigen organischen Verbindungen, das von der Menge der VOCs unabhängig ist. Daher können auf der Grundlage der Dampfkonzentration in der Bodenluft keine Schlussfolgerungen zur tatsächlichen Menge an vorliegenden Schadstoffen gezogen werden.

Untersuchungen auf mit VOCs im Zusammenhang stehende Dämpfe sind üblicherweise Teil eines Untersuchungsvorganges, der beispielsweise dazu dient, den Ort einer Kontaminationsfahne zu ermitteln. Die Ausdehnung der Fahne wird durch graphische Abbildung der relativen VOC-Konzentration in dem Untersuchungsgebiet ermittelt. Dazu ist die Untersuchung in einer gleich bleibenden Tiefe, z. B. in einer konstanten Höhe über dem Wasserspiegel, erforderlich.

Die Untersuchung wird üblicherweise mit eingeführten Stäben oder Sonden und transportablen Geräten ausgeführt. Sie kann auch in Bohrlöchern erfolgen, während diese angelegt werden. Probennahmegeräte, wie z. B. Aktivkohleröhrchen, können für die Laborbestimmung und -analyse angewendet werden. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass Aktivkohle und weitere Adsorbentien bei unterschiedlichen VOCs signifikante Unterschiede in ihrem Durchbruchvolumen aufweisen können.

Sofern an einem Standort potentiell VOCs vorliegen und deren wahrscheinliche Lage bekannt ist, kann die Untersuchung dazu verwendet werden, die Bereiche einzugrenzen, in denen die Verbindungen festzustellen sind, so dass eine spezifische Probenahme ausgeführt werden kann. Diese spezifische Probenahme erfolgt häufig durch sorgfältige Entnahme von Bodenproben (ungestörte Proben, damit ein Verlust an flüchtigen Verbindungen vermieden wird) oder, wenn das Grundwasser wahrscheinlich beeinflusst wurde, durch den Einbau von Überwachungsmessstellen oder durch eine Kombination aus diesen Verfahren.

Wird das Vorliegen von VOCs vermutet und ist deren Lage nicht bekannt bzw. wenn das Vorhandensein nur eine Möglichkeit darstellt, wie dies beispielsweise in einem Abkipfbereich der Fall sein kann, kann der Boden wie oben beschrieben oder durch sorgfältige Entnahme von Proben und die Durchführung von VOC-Dampfraum-Bestimmungen am Standort untersucht werden. Ergeben sich Anzeichen einer VOC-Kontamination, können nun ungestörte Proben für die folgende Analyse entnommen, oder es kann die weitere Untersuchung eingeleitet werden. Durch die Untersuchung von Bodenluft auf VOCs durch entweder Messung vor Ort oder Laborbestimmung kann die räumliche

Verteilung festgestellt werden, sie ist jedoch nicht geeignet für die Beurteilung von Gefährdungen oder die Bewertung von Risiken.

Die Untersuchung auf VOCs erfolgt üblicherweise mit unspezifischen Geräten, wie Photoionisationsdetektoren (PIDs). PIDs können mit Lampen unterschiedlicher Energie ausgestattet sein, um auf unterschiedliche Gruppen von Verbindungen unterschiedlich stark zu reagieren. Je größer die Energie der Lampe, desto mehr Lösemittel können erfasst werden.

Die Anwendung der Feldanalyse kann dazu beitragen, Kosten und Zeit zu sparen, wenn die Dichte der Messstellen um das Ziel herum erhöht oder der Versuch unternommen wird, die Kontamination einem möglichen Eintragsort zuzuordnen. Jedoch ist eine spezifische Analyse üblicherweise nur sinnvoll, wenn die vorliegenden Schadstoffe bereits identifiziert wurden. In einigen Fällen kann für die Untersuchung eine transportable GC-MS-Vorrichtung angemessen sein.

Zuweilen kann es erforderlich sein, Proben der Bodenluft durch Adsorption an ein geeignetes Medium oder unter Anwendung einer Gasspritze oder eines Probennahmebeutels zu entnehmen, so dass die Laboranalyse für die Bestimmung der Zusammensetzung und der vorliegenden Schadstoffe möglich wird. Wird das darüber liegende Material vom selben Schadstoff verunreinigt wie das Grundwasser, ist die Kartierung der Grundwasserkontamination nicht zuverlässig.

Die Überwachung des Bodenluftprofils während der Errichtung von Bohrlöchern kann nützliche Informationen zur vertikalen Verteilung der VOC-Dämpfe und -konzentrationen liefern. Die Überwachung während des Ausbaus kann darüber hinaus wichtige sicherheitsbezogene Informationen liefern. Die Untersuchung auf Dämpfe aus den VOCs neigt dazu, durch die Tiefe begrenzt zu sein, bis zu der die Sondenlöcher angelegt werden können; diese Tiefe sollte jedoch mindestens 1 m betragen. Bei der Untersuchung zur Feststellung der Lage einer Migrationsfahne sollte die Prüfung in einer gleich bleibenden Höhe über dem Wasserspiegel durchgeführt werden, um einen quantitativen Vergleich der Ergebnisse zu ermöglichen.

4.5 Zusammenfassung

Die Kriterien zur Einschätzung der Probennahmeunsicherheit sollten vor jeder Probennahme definiert werden. Als Grundlage dafür können die elf vorgestellten Einflussfaktoren dienen, welche die Probennahme wesentlich beeinflussen können und daher von jeder fundierten Probennahmestrategie angemessen berücksichtigt werden sollten.

- 1 Notwendige Qualitätssicherungsmaßnahmen
- 2 Festlegung der Zielstellung
- 3 Berücksichtigung von Verdachtsmomenten und Historie
- 4 Korrekter Probennahmeort / -umgebung
- 5 Korrekter Probennahmezeitpunkt
- 6 Verteilungsmuster des Analyten
- 7 Verhältnis Matrix – Analyt
- 8 Berücksichtigung von Probenvorbehandlung und notwendiger Probenkonservierung
- 9 Probenreduzierung bis zur Analytik
- 10 Bestimmung des Aufschlussverfahren
- 11 Festlegung des Entnahmeverfahren

Je nach Aufgabenstellung sind den Einflussfaktoren unterschiedliche Prioritäten beizumessen. In jedem Falle sollte jedoch das Verteilungsmuster des Analyten, das Verhältnis Matrix zu Analyt und die Besonderheit bei der Probennahme organischer Substanzen berücksichtigt werden. Es ist möglich, dass der durch diese Faktoren entstehende Fehler den gesamten Fehler aller anderen Faktoren übersteigt oder dieser sogar vernachlässigbar gering wird.

Die zur Gewinnung von Daten für die weitere Vorgehensweise oft ergänzend angewendete orientierende Bodenluftuntersuchung kann nützliche Hinweise bringen. Zur Einschätzung der Unsicherheit einer Bodenluftprobennahme können grundsätzlich die gleichen Kriterien herangezogen werden wie für die Bodenprobennahme. Die Einflussfaktoren sind bei der Bodenluftprobennahme aber anders zu gewichten, da insbesondere die höheren technischen Anforderungen und die höhere Mobilität der Schadstoffe einen entscheidenden Einfluss haben können.