

## A-2.1.2 Spezifische Anforderungen an die Planung und Durchführung von Untersuchungen

Die gesetzlichen Vorschriften aus den Regelungsbereichen des Bodenschutz-, Wasser- und Kreislaufwirtschaftsrechts sind immer zu beachten, insbesondere Abschnitt 4 (§§18 bis 24) der BBodSchV.

Planung und Durchführung von Untersuchungen sind in jedem Fall nachvollziehbar zu dokumentieren, einschließlich der jeweiligen konkreten Aufgabenstellungen und Begründungen für die gewählte Vorgehensweise. Die folgenden speziellen Anforderungen stellen Mindestanforderungen dar, von denen nur in Einzelfällen begründet abgewichen werden sollte.

Auch aus haushaltsrechtlichen Gründen ist bei öffentlicher Auftragsvergabe eine Begründung für die Notwendigkeit der Untersuchungen erforderlich.

Dieser Anhang umfasst die folgenden spezifischen Anforderungen:

- A-2.1.2.1      Untersuchungsmethoden ohne Probenahme**
- A-2.1.2.2      Allgemeines zu Untersuchungen mit Probenahme**
- A-2.1.2.3      Boden- und Bodenmaterialuntersuchungen**
- A-2.1.2.4      Bodenluft-Untersuchungen**
- A-2.1.2.5      Sickerwasser-Untersuchungen**
- A-2.1.2.6      Grundwasser-Untersuchungen**
- A-2.1.2.7      Überwachung durch wiederholte Messungen (Monitoring)**
- A-2.1.2.8      Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse**
- A-2.1.2.9      Parameterauswahl - Einsatz von Summenparametern**
- A-2.1.2.10     Untersuchung und Bewertung von leichtflüchtigen Substanzen**

### A-2.1.2.1 Untersuchungsmethoden ohne Probenahme

Auch ohne die Entnahme und Untersuchung von Proben lassen sich Informationen über den Zustand einer Liegenschaft und die Beschaffenheit ihres Untergrundes gewinnen. Die hierfür eingesetzten Methoden lassen sich unterteilen in:

- Recherchen und Begehungen
- Fernerkundung (Primärauswertung von Luftbildern und Airborne-Laserscandaten),
- geophysikalische Messungen,
- chemische und physikalische Messungen vor Ort,
- hydraulische und hydrologische Messungen (z.B. Wasserstands- und Abflussmessungen),
- numerische Simulationen, Modellrechnungen und Berechnungen aus vorliegenden Messdaten (z.B. Frachten, Verdünnungen, Transportraten).

Zusammenfassende Informationen zu den technischen Verfahren (Datenblätter mit Verfahrensbeschreibung, empfohlene Anwendungsszenarien, ausgewählte technische Parameter, Kosten, Auswertbeispiele) sind dem Anhang A-4 zu entnehmen.

### A-2.1.2.2 Allgemeines zu Untersuchungen mit Probenahme

Untersuchungen mit Probenahme werden allgemein untergliedert nach dem beprobten Medium in

- Boden- (bzw. Feststoff-)
- Luft- (bzw. Gas-) und
- Wasser- (bzw. Sickerwasser-/Flüssigkeits-) Untersuchungen.

Untersuchungen von Bodenluft, Raumluft u. ä. sind in der Regel nur als unterstützende Messungen vorgesehen. Die zu untersuchenden Medien können nicht als Ganzes untersucht werden, so dass ihre Eigenschaften an den entnommenen Proben stellvertretend ermittelt werden müssen. Die an den Proben gewonnenen Daten können nur mit zusätzlichen Informationen oder plausiblen Annahmen auf die Umgebung ihrer Entnahme übertragen werden.

Die Beschaffung von Informationen mit Hilfe der Untersuchung von Proben muss nach Klären der genauen Aufgabenstellung (dem Zweck des Untersuchungsprogramms) daher grundsätzlich über die folgenden Schritte erfolgen (Aufzählung nach dem Infoblatt AH BoGwS aktuell, Ausgabe 18/2016; Bezug über [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de)):

1. **Abgrenzung** des zu untersuchenden Materials/der zu untersuchenden Fläche/des zu betrachtenden Grundwasserssystems (wofür wird eine Information benötigt und wofür nicht mehr),
2. **Erstbetrachtung** zur Einschätzung auftretender Heterogenitäten (nach der Entstehung) bzw. Inhomogenitäten (nach der materialinternen Stoffverteilung), zur Beurteilung der Notwendigkeit, Teil-Populationen zu unterscheiden, und zur Entwicklung eines vorläufigen konzeptionellen Modells,
3. Festlegung einer **Probenahmestrategie** (Beprobungsgegenstand, Einzel- oder Mischproben, Abpumpvolumina, Probenahmepunkte, Anzahl, Mengen, Tiefen, ggf. Kornfraktionen, Untersuchungsparameter, Konservierung usw.) und eines Probenahmeplans zur Umsetzung der Strategie,
4. Durchführung der **Probenahme** mit Beschreibung der Vorgehensweise, der Proben, ggf. der Schichtprofile, Pumpprotokolle und sonstiger Messungen und Beobachtungen im Bereich der Probenahmepunkte, ggf. mit Probenvorbehandlung im Gelände,
5. Bearbeitung der Proben und **Messungen** im Labor,
6. **Zusammenführen der Ergebnisse** von Labormessungen, Vor-Ort-Messungen und Beobachtungen sowie Interpretation im Hinblick auf die Aufgabenstellung inkl. Darstellung von Unsicherheiten (eher qualitativ, da in der Regel nicht exakt quantifizierbar), Fortschreibung und Präzisierung der konzeptionellen Modellvorstellung. Aus Daten wird eine Information!

Wie umfangreich bzw. detailliert die einzelnen Schritte zu bearbeiten sind, hängt von der Aufgabenstellung des Untersuchungsprogramms ab. Große Bedeutung kommt der Erstbetrachtung zu, die im Rahmen einer Ortsbegehung eine Inaugenscheinnahme, ggf. Vor-Ort-Messungen oder „Testprobenahme“ (jeweils mit ausführlicher Dokumentation) o. ä. umfassen kann. Sie gleicht die vorhandenen Informationen mit dem aktuellen Zustand ab und prüft sie auf Plausibilität. Teil-Populationen, die separat zu beproben sind, können Teilflächen, einzelne Schichten, Tiefenstufen, Teilvolumina, Hot-Spots usw. sein.

Um eine für den Einzelfall geeignete Vorgehensweise für die Probenahme entwickeln zu können, bedarf es bestimmter Vorinformationen und/oder Annahmen (bei Verdacht auf erhöhte Schadstoffgehalte auch Kontaminationshypothesen). Diese sind bereits vor der Probenahmeplanung im Rahmen der Phase I zu erarbeiten (z. B. zu recherchieren und durch eine Geländebegehung/Erstbetrachtung zu prüfen und zu ergänzen) und in einer vorläufigen Modellvorstellung zusammenzuführen, um später Aufwand zu sparen und Unsicherheiten zu vermeiden. Dieses sog. konzeptionelle Standortmodell ist die Zusammenfassung aller relevanten Informationen (unter Berücksichtigung gegenwärtiger und geplanter Nutzungen) zur jeweiligen KVF einschließlich Interpretationen und Beurteilung bestehender Unsicherheiten (Darstellungsbeispiele in DIN EN ISO 21365:2021-02 Bodenbeschaffenheit - Leitfaden zur Erstellung konzeptioneller Standortmodelle für kontaminationsverdächtige Flächen).

Das Ergebnis der Untersuchung ist das Resultat einer Schätzung/Interpretation/Übertragung aus den Ergebnissen der an den Proben durchgeführten Messungen und damit ebenfalls eine Modellvorstellung. Daher ist es effizient, bereits vor der Probenahmeplanung mit einer vorläufigen Modellvorstellung zu beginnen und diese im Laufe der Untersuchungen zu überprüfen, fortzuschreiben und zu präzisieren.

Allein durch Labormessungen an Proben sind die benötigten Informationen in der Regel nicht zu gewinnen. Es bedarf zusätzlicher Informationen aus Geländebeobachtungen, Schichten- und

Probenbeschreibungen, ggf. Geländemessungen und Pumpprotokollen sowie sachkundiger Auswertungen und Interpretationen, um die Ergebnisse aus dem Labor auf den zu untersuchenden Boden bzw. das Gewässer zu übertragen. Während z. B. eine Charakterisierung von Böden und Bodenmaterialien bei bestimmten Aufgabenstellungen auch ohne Laboranalytik möglich ist, ist eine Charakterisierung nur auf analytischer Basis keinesfalls ausreichend.

So wie für Analysenergebnisse die Angabe einer Messunsicherheit erforderlich ist, um diese Ergebnisse als Entscheidungsgrundlage nutzen zu können, wird für den Ort der Probenahme eine Aussage benötigt, wie weit die Ergebnisse der Probenuntersuchung über deren unmittelbaren Entnahmbereich hinaus als gültig anzusehen sind. Eine solche Einschätzung kann nur vom Probenehmer bzw. dem bei der Probenahme anwesenden Gutachter vorgenommen werden. Sie ist unverzichtbarer Bestandteil der Begründung und Dokumentation bei der Vorgehensweise zur Probenahme und entsprechend einzufordern.

Art und Auswahl von Aufschluss- und Probengewinnungsverfahren sind abhängig von der Aufgabenstellung, dem auf Grund der Entstehungs- und Nutzungsgeschichte zu erwartenden Schadstoffinventar sowie der Beschaffenheit des geologischen Untergrunds der zu untersuchenden Fläche (pedologische, lithologische, hydrogeologische Gegebenheiten, Fremdmaterialien usw.).

Sämtliche konzeptionellen Überlegungen zur Vorgehensweise bei der Probenahme werden als Probenahmestrategie zusammengefasst (und daher gelegentlich auch als Probenahmekonzept bezeichnet).

Eine geeignete Probenahmestrategie hängt im Einzelnen ab von

- den Aufgabenstellungen des gesamten Untersuchungsprogramms,
- den speziellen Gegebenheiten und Eigenschaften des zu beprobenden Materials,
- den gefragten Untersuchungsparametern und

→ dem erforderlichen Umfang an Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

Viele andere Gegebenheiten wie zum Beispiel:

- der Zugang zur Fläche wie auch zum zu beprobenden Material,
  - die finanziellen, personellen und technischen Möglichkeiten,
  - die Wetterbedingungen,
  - der Zeitplan bzw. zeitliche Rahmen und
  - gesetzliche, sicherheitstechnische und umweltrelevante Einschränkungen
- können ebenfalls einen Einfluss auf die Gestaltung einer Probenahmestrategie haben.

Eine Probenahmestrategie besteht aus Entscheidungen darüber:

- welches Material beprobt wird,
- welche Art von Proben (Einzel- oder Mischproben, gestörte, ungestörte, selektive Proben usw.) geeignet sind,
- wo Proben zu entnehmen sind (Ort, Tiefe, Ausdehnung, Verteilung/Anordnung) und
- welche Anzahl und Menge von Proben zu entnehmen sind.

Zur Umsetzung der Probenahmestrategie wird diese in einen Probenahmeplan überführt, der die konkreten Anweisungen enthält z. B. über:

- Die zu bearbeitende Aufgabenstellung einschl. Untersuchungsphase
- Die beteiligten Personen/Institutionen (Ansprechpartner, Verantwortliche)
- Aspekte der Qualitätssicherung
- Terminplan/zeitliche Einschränkungen
- Die Fläche, auf der Proben entnommen werden sollen (Lage, Größe, Zugänglichkeit, Beschaffenheit der Geländeoberfläche usw.)
- Anforderungen an den Probenotyp (Einzel-/Mischproben, gestörte/ungestörte Proben)
- Strategischer Ansatz der Probenahme (wahrscheinlichkeitsbasiert, kennntnisbasiert o. a.)
- Probenahmemethode, Ausrüstung
- Anzahl, Position, Größe der Proben

- Speziell bei Grundwasserproben auch Förderate, Abpumpvolumen, Entnahmetiefe, Probenahmereinfolge usw.
- Anforderungen an Mischproben
- Einschränkende Wetterbedingungen
- Vor Ort erforderliche Personen
- Arbeitssicherheit, Nachbarschaftsschutz, Umweltschutz
- Durchzuführende Beobachtungen und Aufzeichnungen
- Kennzeichnung der Proben
- Konservierung, Verpackung, Transport, Lagerung der Proben
- Untersuchungsparameter
- Schnittstelle zum Untersuchungslabor

Der Probenahmeplan ist grundsätzlich schriftlich festzuhalten. Erfahrungen haben gezeigt, dass es stets von Vorteil ist, den Probenahmeplan möglichst ausführlich zu dokumentieren. Unsicherheiten und Missverständnisse bei allen Beteiligten (Auftraggeber, Auftragnehmer, Probenehmer, Labor, Aufsichtsbehörden usw.) werden dadurch minimiert und eine Dokumentation im Untersuchungsbericht durch Verweise erheblich vereinfacht. Üblicherweise ist die schriftliche Dokumentation des Probenahmeplans ausreichend. Eine ebenfalls schriftliche Dokumentation der vorangegangenen Probenahmestrategie kann im Einzelfall als Grundlage für Abstimmungen der Vorgehensweise vor der konkreten Probenahmeplanung von Vorteil sein.

Probenahmeplanung: Die DIN ISO 18400-101:2020-11 ersetzt die inzwischen zurückgezogene DIN ISO 10381-1:2003-08 im Hinblick auf die Probenahmeplanung.

Gemäß §19 BBodSchV ist die Probenahme von Sachverständigen im Sinne des § 18 des BBodSchG oder Personen mit vergleichbarer Sachkunde zu entwickeln und zu begründen, zu begleiten und zu dokumentieren. Die Probenahme ist von einer nach DIN EN ISO/IEC 17025 oder DIN EN ISO/IEC 17020 akkreditierten oder nach Regelungen der Ländergemäß §18 Satz 2 BBodSchG notifizierte Untersuchungsstelle durchzuführen.

DIN EN ISO/IEC 17025:2018 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, Abschnitt 7.3) verlangt, dass ein Laboratorium über einen Probenahmeplan und -verfahren verfügen muss, wenn es Probenahmen von Substanzen, Materialien oder Produkten für nachfolgende Prüfungen oder Kalibrierungen durchführt. „Das Probenahmeverfahren muss die Faktoren angeben, die gesteuert werden müssen, um die Validität der Ergebnisse der nachfolgenden Prüfungen oder Kalibrierungen sicherzustellen.“ Das Probenahmeverfahren muss zudem die Auswahl der Proben oder Standorte, den Probenahmeplan und die Entnahme und Vorbereitung der Proben beschreiben. Das Laboratorium muss außerdem Aufzeichnungen der Daten zur Probenahme aufbewahren, die Teil der durchzuführenden Prüfung sind.

Die konkreten Inhalte eines Probenahmeverfahrens oder eines Probenahmeplans können wegen der großen Vielfalt möglicher Aufgabenstellungen und örtlicher Gegebenheiten in der Norm nicht aufgeführt werden. Der Begriff „Probenahmeplan“ wird in der DIN EN ISO/IEC 17025:2018 wesentlich enger verstanden als etwa in der ISO 18400-101:2020. Auch fehlen Anforderungen dazu, wie die Ergebnisse der an Proben durchgeführten Prüfungen auf den Ort der Entnahme der Proben und dessen Umgebung zu übertragen sind. Insbesondere wenn bei der Untersuchung von Kontaminationen in Boden oder Grundwasser nicht nur mittlere Gehalte der beprobten Medien von Interesse sind, sondern z. B. Extremwerte oder Werteverteilungen zu ermitteln oder Abgrenzungen vorzunehmen sind, werden über die Prüfungen im Labor hinausgehende Informationen und Interpretationen erforderlich. Für solche Aufgabenstellungen ist die Anwendung der DIN EN ISO/IEC 17025:2018 allein nicht ausreichend.

Die Gewinnung von Proben, eine evtl. Vorbehandlung im Gelände, Verpackung, Konservierung und Transport der Proben sowie eine evtl. Lagerung sind so vorzunehmen, dass die an den Proben zu bestimmenden Parameter/Eigenschaften nicht unkontrolliert verändert werden. Vorgehensweisen, verwendete Methoden, Gerätschaften und Materialien sind so zu dokumentieren, dass sie bei Bedarf nachvollziehbar sind.

DIN 19747 (Untersuchung von Feststoffen - Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung für chemische, biologische und physikalische Untersuchungen) ist zu beachten.

Prüfberichte, die von Laboratorien erstellt werden, sind gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 anzufertigen.

Insbesondere müssen sie Angaben enthalten zu:

- Entnahmeverfahren,
- Probenmenge,
- Datum der Probenahme (bei leichtflüchtigen Verbindungen auch Datum der Analyse),
- Bestimmungsgrenze und Messunsicherheit der Analysenergebnisse (Genauigkeit der eingesetzten Analysenverfahren in Verbindung mit der Homogenität der Untersuchungsprobe und der Probenahmeunsicherheit, falls diese bekannt ist),
- Analysenverfahren (mit Abweichungen),
- Massenanteile, Konzentrationen, Bezug des Ergebnisses auf Trockenmasse bei 105 °C
- Hinweise hinsichtlich der Siedepunktverteilung der MKW bei Bestimmung des KW-Index (Auswertung der Chromatogramme).

### A-2.1.2.3 Boden- und Bodenmaterialuntersuchungen

Untersuchungen von Boden und Bodenmaterial (im Folgenden zusammenfassend als „Bodenuntersuchungen“ bezeichnet) dienen grundsätzlich den folgenden Aufgaben:

- der einheitlichen Charakterisierung (Deklaration) des gesamten zu betrachtenden Bodens/Bodenmaterials über mittlere Gehalte bzw. Eigenschaften,
- der stichprobenhaften Prüfung des Vorkommens vermuteter Stoffe (orientierende Untersuchung),
- der Ermittlung der (Größenordnung der) Streuung der Gehalte/Eigenschaften in einem Bodenvolumen (evtl. ergänzend zu den vorherigen Punkten) oder
- der Ermittlung der räumlichen Verteilung von Bodeneigenschaften (z. B. Kontaminations-schwerpunkte, Abgrenzungen, Quantifizierung bei der Detailuntersuchung).

Die jeweiligen Probenahmestrategien müssen sich zwangsläufig unterscheiden. So werden z. B. die ersten beiden Aufgaben am effektivsten mit Hilfe von Mischproben untersucht, während die beiden letzten die Entnahme und Untersuchung diskreter Einzelproben verlangen.

Die Anforderungen aus den Anhängen A-2.1.1 (Strategie) und A-2.1.2.2 (Allgemeines zur Probenahme) sind zu beachten. Die Probenahme ist nach DIN ISO 18400-101 zu planen und mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Bei der Bodenuntersuchung sind zu unterscheiden:

- Beobachtungen und Beschreibungen auf der Probenahme-fläche bzw. an der Probenahme-stelle (ggf. einschließlich Messungen vor Ort),
- Aufschlussverfahren,
- Probenentnahme,
- Probendokumentation,
- Handhabung der Probe bis zur Abgabe bei der Untersuchungsstelle,
- Probenvorbereitung, Probenaufarbeitung und Messungen in der Untersuchungsstelle,

- Übertragung der Untersuchungsergebnisse auf die untersuchte Fläche, Auswertungen, Interpretationen, Bewertungen, Schlussfolgerungen.

#### Beobachtungen und Beschreibungen auf der Probenahme-fläche bzw. an der Probenahme-stelle

Die Informationen, die im Rahmen der Phase I bei der Auswertung von Unterlagen und bei der Ortsbegehung/Erstbetrachtung gewonnen und zur Erarbeitung des Probenahmeplans herangezogen wurden, müssen zunächst mit den aktuell auf der zu beprobenden Fläche angetroffenen Gegebenheiten/Bedingungen abgeglichen werden. Bisher nicht erfasste, für die Aufgabenstellung aber wichtige Details sowie ggfs. Abweichungen vom bisherigen Kenntnisstand sind zu dokumentieren. Sie können im Extremfall dazu führen, dass der Probenahmeplan geändert werden muss.

Sofern es für die Aufgabenstellung relevant ist, ist vor der Beschreibung von Aufschlüssen und Proben auch eine Dokumentation der Beschaffenheit der Geländeoberfläche (einschließlich Versiegelungen oder sonstiger Befestigungen sowie morphologischer Gegebenheiten) vorzunehmen. Vegetationsfreie Teilflächen, Erosionsrinnen, Maulwurfshügel u. ä. können wichtige Informationen liefern. Die Beschreibung der einzelnen Proben (s. u.) ist von der Beschreibung von Oberflächen, Aufschlüssen oder Schichtenfolgen zu unterscheiden.

Eine Bodenansprache (Inaugenscheinnahme und Beschreibung), für die z. B. die Bodenkundliche Kartieranleitung ein gut eingeführtes, praktikables und nachvollziehbares Instrumentarium zur Verfügung stellt, ist in der Regel unverzichtbar und wird daher nach §18 (5) BBodSchV für den Ort der Probenahme in dem Umfang gefordert, wie er für die jeweilige Aufgabenstellung erforderlich ist. Dies bedeutet nicht, dass auch jedes Schichtenverzeichnis oder jede einzelne Probe danach beschrieben werden müssen. Die Erfordernisse des Einzelfalls sind zu berücksichtigen, auch Normen zur Baugrunderkundung können

gelegentlich geeignet sein (siehe auch Informationsblatt AH BoGwS aktuell 14/2009, zu beziehen unter [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de)).

Werden Messungen vor Ort durchgeführt, sind diese so zu dokumentieren, dass das Zustandekommen der Messergebnisse nachvollziehbar ist.

### Aufschlussverfahren

Sofern Proben zur Untersuchung des Untergrunds nicht direkt an der Oberfläche entnommen werden, muss dieser durch geologische Aufschlussverfahren zugänglich gemacht werden. Diese umfassen manuell und maschinell durchgeführte Verfahren wie z. B. Aufgrabungen (Schürfe) mit Spaten oder Bagger, Bohrstocksondierungen oder Bohrungen. Die Art des Aufschlusses richtet sich nach der Aufgabenstellung und ist schadstoff- und flächenspezifisch festzulegen. Zusammenstellungen möglicher Aufschlussverfahren enthalten z. B. DIN EN ISO 22475-1 (Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen und Ausführung), DIN ISO 18400-102 (Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 102: Auswahl und Anwendung von Probenahmetechniken) und die Arbeitshilfe „Aufschlussverfahren zur Feststoffprobengewinnung für die Untersuchung von Verdachtsflächen und Altlasten“ des ITVA (1996).

### Kleinbohrungen/Bohrungen

Wenn für die Probenahme Aufschlüsse mit Hilfe von Kleinbohrungen hergestellt werden, ist folgendes zu beachten:

Nur Rammkernsonden mit einem Außendurchmesser von mindestens 50 mm sind zu verwenden.

- Der Durchmesser der Rammkernsonde richtet sich nach dem zu erwartenden Größtkorn. Um eine repräsentative Probenahme zu gewährleisten, muss der Innendurchmesser der Sonde mindestens das Fünffache des Größtkorns betragen. Selbst mit Hilfe einer Rammkernsonde mit 80 mm Außendurchmesser ist daher maximal die Feinkiesfraktion repräsentativ zu erfassen.
- Zur Vermeidung von Querkontaminationen wird aus Rammkernsonden jeweils nur der innere Teil des Bohrkerns beprobt. Der Randbereich (ca. 0,5 - 1 cm) ist zu verwerfen.
- Die vor jeder Probenahme durchgeführte Reinigung der Sonden ist zu dokumentieren.
- Der Einsatz von Brennkrafthämmern (Zweitaktmotorhämmern) ist nicht zulässig.
- Bei Einsatz eines Stromaggregates für Elektrohämmer oder andere Elektrogeräte ist dieses in ausreichender Entfernung unter Berücksichtigung der Windrichtung aufzustellen.
- Die Kerne sind ausschließlich in max. 1 m-Schritten zu ziehen.
- Kernverluste > 20 Prozent sind nicht akzeptabel. Sollten sie nach mehreren Versuchen wiederholt auftreten, ist ein anderes Aufschlussverfahren zu wählen.
- In das Bohrloch nachgefallenes Material ist zu verwerfen.
- Bestehen Zweifel darüber, ob bestimmtes Bodenmaterial nachgefallen ist oder nicht, ist es als Nachfall einzustufen.
- Kernverluste, Stauchungen des Kernmaterials und der Anteil an nachgefallenem Material sind zu dokumentieren; der Anteil an nachgefallenem Material ist als Kernverlust zu bewerten.

Sollen bei Bohrungen Spülungen oder Spülungszusätze verwendet werden, muss sichergestellt sein, dass die vorgesehenen Laboruntersuchungen und deren Ergebnisse davon nicht beeinträchtigt werden.

## Schürfe

Schürfe sind im oberflächennahen Boden ein relativ kostengünstiges Aufschlussverfahren und reichen von Spateneinstichen bis zu ausgedehnten Gruben oder Gräben/Schlitzten. Auch das Abschieben von Oberflächen oder Böschungsschnitte u. ä. können dazu gezählt werden.

Schürfe gestatten über einen größeren Bereich einen Einblick in die Horizont- und Schichtenfolgen. Sie sind sehr gut für die Probenahme in heterogen zusammengesetzten anthropogenen Aufschüttungen oder in Schichten mit hohem Grobkornanteil geeignet. Aus Schürfen ist ausreichend Probenmaterial für die unterschiedlichsten Aufgabenstellungen gewinnbar.

Begehbare Schürfe sind nach DIN 4124 (Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten) auszuführen.

Die vorgesehenen Entnahmestellen der Proben im Schurf sind vor der Probenahme von nachgefallenem Aushub zu säubern. Aus vertikalen Profilen ist stets von unten nach oben zu beproben.

Die Entnahme der Proben ist in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung und dem zu erwartenden Schadstoffspektrum zeitnah nach Anlegen des Schurfs durchzuführen. Der Zeitpunkt ist im Protokoll zu vermerken.

Nach der Probenahme ist die Verkehrssicherheit zu gewährleisten (z. B. durch Wiederauffüllen mit dem entnommenen Material). Das beim Anlegen eines Schurfes anfallende Material ist kein Abfall gemäß § 3 KrWG.

Boden bzw. Bodenmaterial, das lediglich in kleinen Mengen zur Erkundung eines insgesamt sehr viel größeren Volumens bewegt und dann zum Zweck der Wiederverfüllung des Aufschlusses wieder so eingebaut wird, dass dadurch praktisch keine Veränderung des Bodenzustandes eintritt, erfüllt nicht die Definition eines Abfalls nach § 3 KrWG. Eine Behandlung als Abfall würde zudem dem Gebot der Abfallvermeidung entgegenstehen.

Nach § 2 (2) KrWG gilt dieses Gesetz nicht für „Böden am Ursprungsort (Böden in situ), einschließlich nicht ausgehobener, kontaminierter Böden und Bauwerke, die dauerhaft mit dem Grund und Boden verbunden sind“ (Ziffer 10), nicht für „nicht kontaminiertes Bodenmaterial und andere natürlich vorkommende Materialien, die bei Bauarbeiten ausgehoben wurden, sofern sichergestellt ist, dass die Materialien in ihrem natürlichen Zustand an dem Ort, an dem sie ausgehoben wurden, für Bauzwecke verwendet werden“ (Ziffer 11) und nicht für „Sedimente, die zum Zweck der Bewirtschaftung von Gewässern, der Unterhaltung oder des Ausbaus von Wasserstraßen sowie der Vorbeugung gegen Überschwemmungen oder der Abschwächung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren oder zur Landgewinnung innerhalb von Oberflächengewässern umgelagert werden, sofern die Sedimente nachweislich nicht gefährlich sind“ (Ziffer 12).

## Probenentnahme

Bodenproben werden aus einer vorhandenen oder mittels Aufschlussverfahren hergestellten Oberfläche oder aus dem mittels Aufschlussverfahren gewonnenen Bohrgut bzw. Aushubmaterial entnommen. Die Entnahmemethode, das dafür verwendete Gerät sowie dessen Beschaffenheit müssen so gewählt werden, dass die zu untersuchenden Bodeneigenschaften dadurch nicht beeinflusst werden. Sie sind zu dokumentieren.

Generell ist auf größte Reinheit von Aufschlussgeräten und Probenahmegerätschaften zu achten. Nach jedem Probenahmeschritt ist eine sorgfältige Reinigung der Gerätschaften vorzunehmen.

Es sind Entnahmegeräte (Löffel, Spatel) aus Edelstahl (nicht lackiert) zu verwenden.

Grundsätzlich zu unterscheiden sind Einzelproben, deren Material vor der Entnahme einen vollständigen räumlichen Zusammenhang hatte, von Mischproben, die aus Teilproben bestehen, zwischen denen sich nicht beprobtes Material befand. Mischproben mit geringem Abstand ihrer Teilproben werden auch als Gruppenproben (engl.: cluster samples) bezeichnet.

Mischproben können auch aus Teilmengen von Einzelproben zusammengesetzt werden. Sollen die Ergebnisse von Mischprobenuntersuchungen mit statistischen Methoden ausgewertet werden, ist auf deren spezielle Anforderungen zu achten. In der Regel sind dies eine vollständige Vermischung des Materials und gleich große Teilproben. Auch können Untersuchungsergebnisse von Mischproben mit jeweils unterschiedlicher Anzahl von zusammengemischten Proben nicht direkt verglichen werden. Generell gilt, je größer die Anzahl der zu einer Mischprobe vereinigten Teilproben ist, desto „durchschnittlicher“ werden die Ergebnisse der Laboruntersuchung. Extremwerte und Ausreißerwerte verlieren mit zunehmender Anzahl von Teilproben an Bedeutung und können schließlich auch ganz „verschwinden“. Je weniger Teilproben zu einer Mischprobe vereinigt werden, desto zufälliger wird allerdings das Ergebnis. Daher muss im Einzelfall in der Probenahmestrategie festgelegt

werden, welche Unschärfen hierbei noch tolerierbar sind, und die Vorgehensweise bei der Mischprobenbildung ist umfassend und nachvollziehbar zu dokumentieren.

Zu Mischproben dürfen nur Teilproben vereinigt werden, die aus der gleichen Einheit (Bodenhorizont, Schicht, genetische Einheit usw.) stammen.

In der Regel sind für chemisch-analytische Untersuchungen Bodenproben mit gestörter Lagerung ausreichend. Für die Bestimmung einiger physikalischer Kenngrößen (z. B. Lagerungsdichte, Porengrößenverteilung, Porenvolumen) sowie für die Ermittlung von Gefügeparametern sind Proben aus ungestörter Lagerung zu entnehmen. Dafür sind nach Abschnitt 4.6.2 der Bodenkundlichen Kartieranleitung Stechzylinder oder Stechrahmen geeignet.

Mit Hilfe von Hülsen (Linern) kann nicht der gleiche ungestörte Zustand wie mit Stechzylindern erreicht werden. Die damit verbundenen Störungen sind aber für bestimmte Aufgabenstellungen tolerierbar. Es ist zu beachten, dass beim Transport von Liner-Proben erhebliche Gefügestörungen und Entmischungen auftreten können.

Sofern eine Bewertung der Untersuchungsergebnisse von Bodenproben anhand von Maßstäben vorgesehen ist, die bestimmte Voraussetzungen für die Probenahme beinhalten (z. B. bestimmte Probenahmetiefen oder Korngrößenfraktionen bei Prüfwerten der Anlage 2 der BBodSchV, Mischproben oder Einzelproben, gestörte oder ungestörte Proben), sind diese Voraussetzungen bei der Probenahme zu berücksichtigen.

§19 (8) der BBodSchV (2021) verlangt: „Grobe Materialien mit einer Korngröße von mehr als 2 Millimetern sowie Fremdbestandteile und Störstoffe, die möglicherweise Schadstoffe enthalten oder denen diese anhaften können, sind bei Feststoffuntersuchungen aus der gesamten Probenmenge zu entnehmen und gesondert der Laboruntersuchung zuzuführen. Ihr Massenanteil an dem beprobten Bodenhorizont oder der Schichteinheit ist zu ermitteln, zu dokumentieren und bei der Bewertung der Messergebnisse einzubeziehen.“

Eine Abtrennung von mineralischen Fremdbestandteilen („die keine natürlichen Bodenausgangssubstrate sind“, s. §2 (8) BBodSchV 2021) und von Störstoffen („Gegenstände im Bodenmaterial“, z.B. Holz, Glas, Kunststoffe, s. §2 (9) BBodSchV 2021) sowie der Kornfraktion > 2 mm ist also gefordert. Wie die Ergebnisse der getrennten Analysen dieser Stoffe in die Bewertung der Bodenuntersuchung einzubeziehen sind, ist im Einzelfall zu entscheiden.

Eine Identifikation und Dokumentation der in den Bodenproben enthaltenen Materialien ist in jedem Fall mit der für die jeweilige Aufgabenstellung erforderlichen Detaillierung vorzunehmen.

### Probenanzahl

Die Anzahl der erforderlichen Proben hängt vor allem ab von der jeweiligen Aufgabenstellung, den bereits vorhandenen Informationen, der tatsächlichen oder anzunehmenden Homogenität/Inhomogenität/Heterogenität des Materials, der erforderlichen Aussagesicherheit und der Vielfalt örtlicher Gegebenheiten (siehe auch LAGA PN 98, Kap. 3.1). Eine Festlegung der Anzahl der Proben allein nach dem Volumen des zu charakterisierenden Materials ist in der Regel nicht sachgerecht. Die vorstehend genannten Kriterien sind nicht direkt abhängig vom Volumen. Auch verändert sich das Volumen bei Umlagerungsprozessen und durch fortschreitende Setzungen nach Ablagerung, während Analysenangaben üblicherweise einen konstanten Massebezug (z. B. „mg/kg“) haben.

Flächengröße, Aufbau und Zusammensetzung des Untergrundes, Flurabstände, Art der Kontamination sowie die zu betrachtende Nutzung und die dafür erforderliche Untersuchungstiefe haben auch einen entscheidenden Einfluss auf die Anzahl der Proben. Nicht alle entnommenen Proben müssen zwangsläufig weiter untersucht werden.

(Siehe auch Infoblatt AH BoGwS aktuell, Ausgabe 20/2018; Bezug über [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de))

### Probengröße/-menge

Die notwendige Probenmenge hängt vor allem von Art und Umfang der durchzuführenden Untersuchungen ab. Soll die Korngrößenverteilung untersucht werden, müssen alle relevanten Korngrößenfraktionen in der Probe vertreten sein. Bei grobkörnigen Materialien können dann große Mengen erforderlich werden. Für die Untersuchung von Stoffgehalten ist die Korngrößenverteilung des Materials nur dann von Bedeutung, wenn die Verteilung der Stoffe an bestimmte Korngrößen gebunden ist. Dies ist praktisch selten der Fall. Insbesondere organische Stoffe/Schadstoffe haben kaum einen Bezug zur Korngrößenverteilung des Materials, in dem sie sich befinden. Sie sind vielmehr an die Verteilung von Poren gebunden oder an spezielle Eigenschaften von Kornoberflächen, oder sie liegen als separate feinkörnige Fraktion (z. B. Humus, Staub oder Ruß) vor.

Eine generelle Koppelung der erforderlichen Probenmenge an das Größtkorn gemäß DIN 18123 (zurückgezogen) ist nicht sachgerecht. Die Ermittlung einer Korngrößenverteilung ist in der Regel keine Zielstellung für Bodenuntersuchungen im Geltungsbereich der BBodSchV. Stattdessen ist die notwendige Probenmenge nach den Anforderungen der durchzuführenden Untersuchungen und Probenmaterial-Rückstellungen im Einzelfall festzulegen. Eine generelle Mindestmenge von 500 ml ist zu empfehlen.

In Tabelle A sind beispielhaft die mit einer Rammkernsonde (1 m Länge) gewinnbaren Probenmengen für einen schluffig-sandigen Boden unter Berücksichtigung von Innendurchmesser und zu verwerfenden Randbereichen des Kerns bei vollständigem Kerngewinn angegeben.

**Tabelle A: Gewinnbare Probenmengen in Abhängigkeit vom Sondendurchmesser bei 1 m Sondenlänge**

Außendurchmesser Sonde [mm]	Gewinnbare Probenmenge [kg]
80	3,5-4,2
60	1,4-1,9
50	0,7-1,0

**Tabelle B: Beispiele für Probenmengen für diverse Analysenumfänge nach ErsatzbaustoffV, BBodSchV und Aufstockungen der ErsatzbaustoffV-Analysen auf DepV  
(Datenquelle: Biolab Umweltanalysen GmbH, Braunschweig)**

Analysenumfang nach ErsatzbaustoffV	erforderliche Probenmenge
<b>Bodenmaterial, Anlage 1, Tabelle 3, Spalte 6, BM/BG-0* bis 10 Vol.-% FB*</b>	<b>5 kg</b>
Bodenmaterial, Anlage 1, Tabelle 3, Spalte 3 – 5, BM-0 bis 10% Vol.-% FB	1 kg
Bodenmaterial, Anlage 1, Tabelle 3, Spalte 7 – 10, BM-F0* – BM-F3 bis 50 Vol.-% FB	3 kg
Bodenmaterial, Anlage 1, Tabelle 4, Zusätzliche Materialwerte, komplett	6 kg
<b>RC-Material, Anlage 1, Tabelle 1</b>	<b>2 kg</b>
<b>RC-Material, Überwachungswerte, Anlage 4, Tabelle 2.2</b>	<b>0,5 kg</b>
Bodenmaterial, Aufstockung DepV Spalte 5 auf Anlage 1, Tabelle 3, Spalte 6	0,5 kg
RC-Material, Aufstockung DepV Spalte 5 auf Anlage 1, Tabelle 1	0,5 kg
BBodSchV, Anlage 1, Tabelle 1 + 2, Vorsorgewerte	0,5 kg
BBodSchV, Anlage 1, Tabelle 4, Auf- oder Einbringen unter-, außerhalb einer durchwurzelbaren Schicht	3 kg

\*FB = Fremdbestandteile

Bei den Probenmengen der Tabelle B ist zusätzliches Material für Rückstellproben oder für Untersuchungen zur Bodencharakterisierung (z. B. Korngrößenverteilung, Karbonatgehalt, Ton-, Humusgehalt) nicht eingerechnet.

### Räumliche Anordnung von Bodenproben

Hinsichtlich der räumlichen Anordnung von Proben sind grundsätzlich systematische, wahr-scheinlichkeitsbasierte und kenntnisbasierte An-sätze zu unterscheiden. Zu beachten ist der nicht unerhebliche Aufwand zum Einrichten eines echten Zufallsrasters, bei dem theoretisch jeder Teil des zu untersuchenden Bodens die gleiche Chance hat, mit in die Probe zu gelangen.

Bei der Untersuchung von Verdachtsflächen ist es in der Regel sinnvoll, Proben entsprechend der vorhandenen Verdachtsmomente zu entnehmen und diese damit zu überprüfen.

In jedem Fall ist die nach der Aufgabenstellung und den Gegebenheiten vor Ort gewählte Vor-gehensweise zu begründen und zu dokumentieren (siehe auch Infoblatt AH BoGWS aktuell, Ausgabe 19/2018; Bezug über [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de)).

### Dokumentation

Beobachtungen und Messungen im Gelände, Aufschlussverfahren, Aufschlüsse, Probenent-nahmeverfahren, Proben, Probenvorbehandlungen, Verpackung, Konservierung, Transport und Lagerung müssen in dem Umfang dokumentiert werden, der für die jeweilige Aufgabenstellung und Situation erforderlich ist, um die Informati-ongewinnung nachvollziehbar zu machen und ausreichend Hinweise für Plausibilitätsprüfungen sicherzustellen. DIN ISO 18400-107 (Bo-denbeschaffenheit - Probenahme - Aufzeich-nung und Berichtswesen) ist zu beachten.

Zusätzlich sind alle Beobachtungen vor Ort zu dokumentieren, die für die Interpretation und Beurteilung der Untersuchungen von Bedeutung sein können und die Aussagen über die Reich-weite der Gültigkeit der Untersuchungsergeb-nisse über die Probenahmestelle hinaus ermögli-chen.

Für den Wirkungspfad Boden - Mensch sind nach §22 (1) BBodSchV Ermittlungen zu den im Einzelfall vorliegenden Expositionsbedingungen vorzunehmen, insbesondere über

- die tatsächliche Nutzung der Fläche (Art, Häufigkeit, Dauer),
- die Zugänglichkeit der Fläche,
- die Versiegelung der Fläche und über den Aufwuchs,
- die Möglichkeit der inhalativen Aufnahme von Bodenpartikeln,
- die Relevanz weiterer Wirkungspfade.

Schürfe und ähnliche dreidimensionale Auf-schlüsse sind auch in allen Dimensionen zu do-kumentieren. Eine lineare Profilbeschreibung ist in der Regel nicht ausreichend!

Die Ergebnisse der Bohrkerndokumentation, die Aufnahme von Schürfen sowie anderer natürli-cher und künstlicher Aufschlüsse sind grafisch darzustellen und gegebenenfalls durch Fotodo-kumentationen zu ergänzen. Zur Dokumentation ist der Symbolschlüssel Geologie des Schich-tenerfassungsprogramms SEP heranzuziehen. Weitere Anforderungen an die Erfassung von Schichtenverzeichnissen enthält Anhang 7.3.

In jeder Leistungsbeschreibung zur Beauftra-gung und in jedem Protokoll bzw. Schichtenver-zeichnis zur Dokumentation ist anzugeben, auf welche Regeln sich die Beschreibungen stützen. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Be-schreibungen nicht nur in Kürzeln, sondern auch in Klartext geliefert werden. Kommen Kürzel aus verschiedenen Anwendungsbereichen zusam-men, besteht die Gefahr, dass Dokumentationen nur noch schwer lesbar werden. Individuelle Kürzel, die nicht einer offiziellen Norm entspre-chen, sind zur Dokumentation ungeeignet und abzulehnen.

Unabhängig von der Dokumentation von Schich-tenverzeichnissen und Aufschlüssen sind auch die entnommenen Proben in dem Umfang zu beschreiben, der bei der jeweiligen Aufgaben-stellung für eine Plausibilitätsprüfung und Inter-pretation von Messergebnissen erforderlich ist. So ist z. B. im Rahmen der Probenahmeplanung auch festzulegen, ob die Beschreibung einer

Mischprobe ausreicht oder auch alle ihrer Teilproben beschrieben werden müssen. Als Faustregel muss gelten: Eine Probe, für die keine Beschreibung vorliegt, sollte nicht ins Labor gegeben werden, da für die Interpretation von Messergebnissen wesentliche Grundlagen fehlen.

Sorgfältige Probenbeschreibungen helfen zudem, Verwechslungen von Proben vorzubeugen bzw. diese ggf. nachvollziehbar zu machen.

### Handhabung des Probenmaterials

Die in Anlage 4 der BBodSchV aufgeführte DIN 19747:2009-07 (Untersuchung von Feststoffen – Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung für chemische, biologische und physikalische Untersuchungen) unterscheidet zwischen

- der „Probenvorbehandlung“, die alle Arbeitsschritte vor Ort umfasst und als Ergebnis aus der Feldprobe eine zum Transport präparierte Laborprobe liefert, und
- den Arbeitsschritten im Labor, die erforderlich sind, um das Prüfprobenmaterial für die verschiedenen Untersuchungs- und Analyseaufgaben herzustellen. Dabei wird weiterhin unterschieden zwischen der „Probenvorbereitung“ (Herstellung der Prüfprobe aus der Laborprobe durch z. B. Trocknen, Sieben, Homogenisieren, Teilen) und der „Probenaufarbeitung“ (Herstellung der Analysen-, Untersuchungs- bzw. Messprobe aus der Prüfprobe durch z. B. Feinzerkleinerung oder andere untersuchungsspezifische Maßnahmen).

Als „Probenaufbereitung“ wird in der Norm die Behandlung von Feststoffen zwecks Anreicherung erwünschter Komponenten durch z. B. Sieben oder Flotieren (in der Regel im Technikumsmaßstab) definiert.

In jedem Fall sind alle Arbeitsschritte, die einen Einfluss auf das Messergebnis haben können, nachvollziehbar zu dokumentieren (z. B. durch ein Probenbegleitprotokoll nach Anhang A der DIN 19747) und ggf. zu kommentieren. Nur dann können Messergebnisse miteinander verglichen werden. Daher ist auch in Leistungsbeschreibungen und Leistungsverzeichnissen auf eine eindeutige Beschreibung des Gewollten zu achten.

Die Vorgehensweise bei der Probenvorbehandlung ist im Prüfbericht des Laboratoriums entsprechend den Anforderungen nach DIN 19747 zu dokumentieren.

### A-2.1.2.4 Bodenluft-Untersuchungen

#### 1. Grundlagen

Die Bodenluft im nicht mit Flüssigkeiten erfüllten Porenraum des Bodens enthält Gase (Methan, Stickstoff, Kohlendioxid, Sauerstoff, Vinylchlorid usw.) und leichtflüchtige Substanzen, die bei normalen Bodentemperaturen als Flüssigkeiten vorliegen und aufgrund ihres hohen Dampfdrucks nur anteilig in die Bodenluft übertreten. Zu dieser Stoffgruppe gehören insbesondere:

- leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe,
- leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe,
- andere niedrig siedende Kohlenwasserstoffe

sowie andere flüchtige organische Verbindungen aus dem Bereich der Lösungsmittel (Ester, Ether, Alkohole, Ketone).

Dabei entstehen komplexe Übergänge zwischen flüssiger Phase der Substanz, der Bodenluft, der Bodenlösung, der evtl. vorhandenen weiteren flüssigen Schadstoffe und den verschiedenen Festsubstanzen der Bodenmatrix, bei denen sich Gleichgewichte oft erst nach längerer Zeit oder auch gar nicht einstellen. So lange sich Schadstoffe ausbreiten, kann kein Gleichgewicht bestehen.

Die Ergebnisse von Bodenluftuntersuchungen auf leichtflüchtige Substanzen sind sehr stark von den aktuellen Standort- und Wetterbedingungen (inkl. Luftdruck, Temperatur, Bodenfeuchte, Lösungsvermittler usw.) und der Probenahmemethode abhängig, die nicht so weit standardisierbar ist, dass die Ergebnisse aller Messungen vergleichbar sind. Zwar lässt sich bei mehreren nacheinander mit der gleichen Methode durchgeführten Messungen gut feststellen, wo die höchsten und wo die niedrigsten Werte angetroffen wurden. Es lässt sich aber nicht sicher feststellen, ob die bei Messungen zu einem anderen Zeitpunkt oder mit einer anderen Methode ermittelten Werte tatsächlich eine Veränderung im Boden belegen.

Gasuntersuchungen im Zuge von Deponieüberwachung und -erkundung sind nicht Gegenstand dieser Anforderungen. Hinweise zur Deponiegasuntersuchung gibt VDI-Richtlinie 3860.

#### 2. Untersuchungsaufgaben und Konzentrationsbereiche

Folgende Aufgaben können mit Bodenluftuntersuchungen auf leichtflüchtige Substanzen bearbeitet werden:

- I. Ermittlung der Art eines Schadens (Substanzen; Größenordnung der Konzentrationen)
- II. Lokalisierung von Eintragsstellen bzw. Schadenszentren
  - a) gezielte Erkundung auf Grund vorliegender Erkenntnisse über Nutzungsgeschichte und Handlungsabläufe
  - b) Untersuchung von Flächen ohne konkrete Hinweise auf mögliche Eintragsstellen (Rasteruntersuchungen)
- III. Übersicht über die Ausbreitung des Schadens in Tiefe und Fläche
- IV. Kartierung von Grundwasserverunreinigungen.

Aufgrund dieser Aufgaben muss ein großes Konzentrationsintervall erfasst werden (Spurenbereich bis Sättigungskonzentration). Dazu sind in der Regel unterschiedliche Probenahmeverfahren notwendig:

- Für die Aufgaben II.a und III kann der Konzentrationsbereich zwischen  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $> 100.000.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $10^8 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 100 \text{g}/\text{m}^3$ ) liegen. Bevorzugt sind Probenahmeverfahren ohne Anreicherung einzusetzen: Direktmessung unter Verwendung von Gasammelgefäßen (Septumglas, Pasteur-Pipette). Für die Aufgaben II.b und IV müssen auch geringe Konzentrationen ( $< 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) zuverlässig erfasst werden und differenzierbar sein. Dazu sind Verfahren mit Anreicherung notwendig, z. B. Adsorption auf Aktivkohle oder XAD-Harz.

- Bei orientierenden Untersuchungen sind in der Regel Anreicherungen durchzuführen, da die Höhe der auftretenden Konzentrationen sowie ihre Schwerpunkte meist noch nicht bekannt sind und die Konzentrationen über kurze Entfernungen stark schwanken können.

### 3. Probenahmestrategie

Die Lage der Messstellen orientiert sich an den Erkenntnissen der historischen Erkundung bzw. den Produktions- und Handlungsabläufen. Potentielle Eintragsstellen bzw. Schadenszentren sind im Zuge der orientierenden Untersuchung zu erfassen.

Zur Festlegung der Entnahmetiefe und zur Interpretation der Bodenluftuntersuchungsergebnisse sind detaillierte Kenntnisse über den Untergrundaufbau notwendig. Liegen keine Erkenntnisse über den Untergrundaufbau vor, ist dieser zunächst mittels Kleinbohrungen (oder anderer geeigneter Verfahren) zu erkunden. Diese Bohrlöcher können zur Entnahme von Bodenluftproben unter Einhaltung der oben genannten Anforderungen, d. h. zeitnah nach ihrem Anlegen, verwendet werden. Alternativ kann eine Sondierung in der Nähe des Aufschlusses durchgeführt werden.

Bodenluftuntersuchungen haben eine eigene Zielsetzung und erfordern eine zielorientierte und wirtschaftliche Vorgehensweise. Sie werden in der Regel nicht im Zuge von geologischen und hydrogeologischen Erkundungen durchgeführt, welche zu anderen Zwecken konzipiert wurden. Deshalb ist die oft in der Praxis angewandte Vorgehensweise „Abteufen von Kleinbohrungen, Entnahme von Bodenproben und anschließende Bodenluftbeprobung in den nun einmal vorhandenen Bohrlöchern“ nicht fachgerecht im Sinne einer zielorientierten Bodenluftuntersuchung.

Aufgrund der in der Regel geringen Anzahl von Messstellen bei der orientierenden Untersuchung ist auf besondere Sorgfalt bei der Durchführung der Untersuchungen zu achten, da die

Ergebnisse Grundlage wesentlicher Entscheidungen sind.

Detailuntersuchungen zeichnen sich durch eine deutliche Erhöhung der Anzahl der Messstellen bei gleichzeitiger Verringerung der Abstände aus (zum Teil < 5 m). In wenigen Fällen ist der Untergrundaufbau derart heterogen, dass für jede Bodenluftprobe ein Aufschluss zur Erkundung des Untergrundes notwendig wäre. Sondierungen sind in der Regel ausreichend. Treten bei der Probenahme Auffälligkeiten auf z. B. starker Unterdruck, Wasser in der Sonde, sind diese zu dokumentieren und die Ursache ist bei Bedarf mittels zusätzlicher Kleinrammbohrungen zu erkunden.

Zur Optimierung der Probenahmeplanung sowie zur Reduzierung der Anzahl von Messstellen ist der Einsatz von Vor-Ort-Analytik (mobiles Messlabor mit Gaschromatographen) zu empfehlen.

Wesentlich ist, dass die Fragestellung das Probenahmeverfahren bestimmt und nicht umgekehrt.

In der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2 (01/1998) werden verschiedene aktive Verfahren zur Beprobung der Bodenluft vorgestellt, um für unterschiedliche Messaufgaben angepasste Verfahrensvarianten anbieten zu können. Weiterhin werden dem Anwender Informationen gegeben, welche Randbedingungen neben der eigentlichen analytischen Bestimmung zusätzlich berücksichtigt und in die Beurteilung von Schadensfällen einbezogen werden müssen.

Die in der Richtlinie vorgestellten Verfahren sind Konventionsverfahren. Die mit unterschiedlichen Entnahmeverfahren gewonnenen Ergebnisse sind nicht vergleichbar. Bodenluft-Messergebnisse sind relativ und nicht zur Gefährdungsabschätzung geeignet. Sie sind auch nicht geeignet, Rückschlüsse auf Schadstoffgehalte im Boden oder im Grundwasser zu ziehen. Korrelationen können zwar vorhanden sein, können aber auch völlig fehlen. Zahlreiche Messungen an verschiedenen Standorten zeigen, dass von z. B. hohen Bodenluftwerten nicht auf hohe Bodenwerte zu schließen ist oder umgekehrt.

Alle Verfahrensvarianten der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2 (01/1998) weisen, bedingt durch geologische und technische Begebenheiten, begrenzte Einsatzmöglichkeiten auf. Um alle Untersuchungsaufgaben entsprechend Abschnitt 2 bearbeiten zu können, muss ein Prüflaboratorium/Ingenieurbüro mehrere Varianten zur Bodenluftprobenahme aus der ungesättigten Bodenzone beherrschen. Dabei lässt die VDI-Richtlinie weitere geeignete Verfahrensvarianten zu, wenn sie exakt beschrieben, validiert und die Verfahrenskenngrößen bestimmt sind.

Gemäß VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2 (01/1998) wird einerseits unterschieden zwischen Verfahrensvarianten mit Probenahme aus Bohrlöchern und Sondierungen (d. h., Einbringen einer Probenentnahmesonde ohne Vorbohrung) und andererseits Verfahren mit Anreicherung und Direktmessung.

Entscheidend ist folgende Aussage der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 1 und 2:

„Bei Bodenluftmessungen handelt es sich um qualitative und orientierende Voruntersuchungen etwa über die Schadensquelle und die relative Verteilung der Schadstoffe. Die quantitativen Belastungen von Boden und Grundwasser können nur durch weiterführende Analysen ermittelt werden“.

#### 4. Ort der Probenahme

Die Entnahmetiefe hängt von der Fragestellung der Untersuchungen und damit auch vom Untergundaufbau ab. Meist sind Entnahmetiefen von 1 bis 2 m geeignet. Bei der Erkundung von Grundwasserverunreinigungen sowie der vertikalen Eindringtiefe von Schadstoffen können größere Entnahmetiefen erforderlich werden (Aufgaben II - IV, siehe oben). Tiefen bis zu 8 m sind oft noch erreichbar. Ab einer Entnahmetiefe von rund 10 m sind technische und wirtschaftliche Grenzen absehbar.

Um genaue Aussagen über die vertikale Schadstoffverteilung zu erhalten, muss die Bodenluft aus definierter Teufe entnommen werden. Entsprechend klein ist der Einlassbereich des Entnahmesystems auszulegen (Länge maximal 10 cm).

Die Probenahmetiefe muss so gewählt werden, dass eine unkontrollierte Vermischung mit atmosphärischer Luft vermieden wird. Dies ist in der Regel unterhalb von 1 m unter Gelände gegeben. Bei versiegelten Oberflächen können auch geringere Entnahmetiefen zielführend sein.

Integrierende Probenahmen sind ungeeignet und somit nicht zulässig, da eine nicht quantifizierbare Schadstoffausbreitung innerhalb des offenen Bohrloches stattfindet. Insbesondere bei inhomogenem Untergundaufbau mit stark unterschiedlichen Gasdurchlässigkeiten sind die Ergebnisse einer integrierenden Probenahme nicht interpretierbar.

Werden die Proben aus Bohrlöchern entnommen, ist eine Einengung des Probenahmebereiches vorzunehmen. Bei der Verwendung von Packern besteht eine erhöhte Gefahr von Querkontaminationen (Verschleppungen). Eine Dekontamination des gesamten Entnahmesystems ist vor jeder Probenahme vorzunehmen. Die Blindwertfreiheit muss gewährleistet sein.

## 5. Technische Ausstattung

Für die Probenahme von Bodenluft gibt es im Vergleich zu den anderen Umweltmedien keine Normen und kaum formulierte Leitlinien. Daher werden die Anforderungen im Folgenden ausführlicher beschrieben als die Probenahme der Medien Boden und Grundwasser.

Die technische Mindestausstattung zur Bodenluftentnahme umfasst unter anderem folgende Gerätschaften:

- Elektromotorhammer zum Abteufen der Sonden bzw. Erstellen von Bohrlöchern mittels Kleinbohrungen
- Stromaggregat
- Schlag- oder Kernbohrgerät zum Durchteufen versiegelter bzw. befestigter Oberflächen
- Bodenluftsonden, Sonden für Kleinbohrungen
- Entnahmekopf mit Septum
- Pumpe für stufenlos regelbaren Volumenstrom
- Ziehgerät (hydraulisch oder mechanisch)
- Probengefäße bzw. Adsorptionsmittel
- Verbindungsschläuche
- Dekontaminationsmittel bzw. -geräte
- Glaskolbenspritze
- Deckelzange
- Vorrichtung zum Evakuieren (Unterdruckpumpe, großvolumige Glasspritze)
- Unterdruckanzeige (falls nicht an der Pumpe vorhanden).

Im Einzelnen werden folgende Anforderungen gestellt:

### 5.1 Elektromotorhammer

Zum Abteufen der Sonden sind ausschließlich elektrogetriebene Geräte zu verwenden, um mögliche Kontaminationen durch Abgase, Öl und Benzin von Motorhämmern auszuschließen.

Wird vor Ort zur Stromerzeugung ein Stromaggregat verwendet, ist dieses in ausreichender Entfernung vom Messpunkt aufzustellen, wobei

die Windrichtung zu berücksichtigen ist. Aufstellung stets in Abluftrichtung (Lee). Auch Querkontaminationen im Umgang mit Kraftstoffen sind zu vermeiden.

### 5.2 Bodenluftsonden

- Die Bodenluftsonden müssen folgende Anforderungen erfüllen:
- stabil
- leicht handhabbar
- adsorptionsfreies bzw. adsorptionsarmes Material (Stahl, Aluminium, Kupfer)
- geringes Totvolumen
- geringer vertikaler Einlassbereich (maximal 10 cm Länge)
- gasdichte Übergänge (bei Verlängerungen)
- gasdichter Abschluss der Sonde mit Septum.

### 5.3 Pumpe

Die Bodenluft ist mittels einer Pumpe (z. B. Kolbenmembranpumpe) abzusaugen, deren Volumenstrom stufenlos regelbar ist. Die Durchflussrate beträgt, abhängig von der Durchlässigkeit des Untergrundes, zwischen 0,1 bis maximal 1 l/min.

Verfügt die Pumpe nicht über Anzeigen für Unterdruck und Volumenstrom, müssen für ein kontinuierliches Monitoring externe Instrumente verwendet werden. Das Manometer ist dann am Sondenkopf zu platzieren.

Das gesamte zur Probenahme eingesetzte Pumpsystem muss dicht sein.

### 5.4 Probengefäße

Abhängig von der technischen Ausstattung des Gaschromatographen sind in Absprache mit dem Prüflaboratorium geeignete Septumgläser (Volumen in der Regel 10 bzw. 20 ml) zu verwenden. Die Verwendung von Pasteur-Pipetten ist auch möglich.

Zur Vermeidung von Adsorption sind PTFE-beschichtete Septen zu verwenden. Es sind Septen (aus Butylgummi) zu wählen, die nach dem Durchstechen wieder selbständig dichten.

Die Gassammelgefäße und Septen sind vor der Probenahme auszuheizen.

Das Verschließen der Septumgläser ist mit äußerster Sorgfalt durchzuführen: Glasrand ohne Verschmutzungen, plan aufliegendes Septum, sachgerechte Anwendung der Deckelzange, gleichmäßiges Anliegen der Kappe am unteren Rand des Glasrandes, Prüfung nach dem Verschließen: der Deckel darf sich auch unter Kraftanwendung mit der Hand nicht verdrehen lassen.

Septen, auch vom selben Hersteller, können große Qualitätsunterschiede aufweisen. Deshalb sind je Charge stichprobenartig Qualitätsprüfungen durchzuführen: Gaschromatographische Analyse auf leichtflüchtige Bestandteile des Septums sowie Dichtigkeit des durchstochenen Septums.

Prüfung: Verschließen des Septumglases, Septum mehrmals mit einer Kanüle durchstechen (mindestens fünf Einstiche), Unterdruck aufbringen, Unterdruck nach 48 h überprüfen (die Abweichung darf 10 Prozent nicht überschreiten).

### 5.5 Adsorptionsmittel

Aktivkohle oder Adsorberharze mit Sicherheitszone; Typ und Hersteller sowie Extraktionsmittel sind anzugeben. Substanzspezifische Durchbruchvolumina müssen bekannt sein.

### 5.6 Verbindungsschläuche

Verbindungsschläuche und Leitungen von der Sonde zur Pumpe und/oder zum Adsorptionsmittel sind möglichst kurz zu halten und häufig zu erneuern. Sie müssen aus adsorptionsfreien bzw. adsorptionsarmen Materialien (z. B. HDPE) bestehen. Auf Blindwertfreiheit ist zu achten.

## 6. Durchführung der Probenahme

### 6.1 Allgemeine Anmerkungen

Bei der Entnahme der Bodenluftproben sind folgende Punkte zu beachten:

- Vor der Probenahme ist das System auf Dichtigkeit zu überprüfen (Beispiel zur Dichtigkeitsprüfung ist in der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2: 01/1998 beschrieben).
- Die Probe ist vor der Pumpe zu entnehmen bzw. der Adsorbent vor die Pumpe zu schalten.
- Es ist sicherzustellen, dass keine atmosphärische Luft oder Luft aus Bodenhorizonten, die nicht beprobt werden sollen, die Bodenluftprobe beeinflusst.
- Vor der Probenahme bzw. dem Einbringen des Adsorptionsmittels ist mindestens das Zweifache des Totvolumens der Bodenluftsonde abzusaugen.
- Der Zeitraum zwischen Erstellen des Bohrloches bzw. Abteufen der Sondierung und der Probenahme muss für jeden Untersuchungspunkt festgelegt und gleich sein.
- Die Durchflussrate ist den Untergrundverhältnissen anzupassen und möglichst klein und konstant - bei geringem Unterdruck - zu halten (0,1 bis maximal 1,0 l/min); bei der Verwendung von Adsorptionsmitteln sind die Vorgaben des Herstellers zu beachten und zu dokumentieren.
- Alle bei der Probenahme mit Bodenluft in Kontakt gekommenen Bestandteile des Entnahmesystems sind entweder nur einmalig zu benutzen oder vor der Wiederverwendung zu dekontaminieren (von Messpunkt zu Messpunkt). Geeignete Dekontaminationsmaßnahmen sind: Ausheizen der Sonden mit einem Heißluftföhn, Auskochen der Spritzen in Wasser, Ausheizen von Kleinmaterial im Ofen. Sollten die Dekontaminationsmaßnahmen nicht vor Ort durchgeführt werden, ist darauf zu achten, dass genügend Sonden usw. mitgeführt werden.

## 6.2 Probenahme zur Direktmessung über ein Gassammelgefäß

Prinzipiell ist dafür Sorge zu tragen, dass alle Proben unter gleichen Randbedingungen entnommen werden. Jeder Zwischenschritt stellt eine potentielle Fehlerquelle dar.

Zur Direktmessung der Bodenluft kommen zwei unterschiedliche Gassammelgefäße zur Anwendung: Septumglas sowie Pasteur-Pipette. Bei der Verwendung von Pasteur-Pipetten sind die Anforderungen der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2: 01/1998, Variante 4 zu berücksichtigen.

Im Folgenden wird die direkte Bodenluftprobenahme unter Verwendung eines Septumglases mit der Unterdrucktechnik beschrieben:

- Abteufen der Sonde
- Absaugen des zweifachen Totvolumens der Bodenluftsonde
- Übergang Pumpe-Sonde gasdicht schließen  
Pumpe abstellen
- Unterdruck in der Sonde abbauen lassen  
(mittels einer Glasspritze überprüfen)
- Die Entnahme der Bodenluft erfolgt mittels einer durch Ausheizen dekontaminierten, eingeschliffenen Glasspritze aus dem Entnahmekopf (Septum). Vor dem Abziehen der Spritze muss sich der Umgebungsdruck eingestellt haben.

Das Befüllen des verschlossenen Septumglases mit Bodenluft unter Nutzung der Unterdrucktechnik wird wie folgt beschrieben:

Ein verschlossenes Septumglas ist zunächst „randvoll“ gefüllt mit atmosphärischer Luft. Um in dieses Glas Bodenluft ohne Überdruck einfüllen zu können, muss es zunächst „entleert“ werden. Dazu ist es notwendig, das Septum zu durchstechen und durch Anlegen eines Unterdruckes die Luft zu entnehmen.

### Erzeugung des erforderlichen Unterdruckes mit einem der beiden folgenden Verfahren:

1. Das Septum wird mit einer Injektionsnadel, die über eine Leitung mit einer Hubkolbenpumpe verbunden ist, durchstochen und die Luft abgepumpt. Dabei

wird eine Druckreduzierung auf etwa 50 mbar erzeugt, d. h., das Glas wird annähernd vollständig evakuiert.

2. Das Septum wird mit einer Injektionsnadel durchstochen und mit Hilfe einer damit verbundenen Glasspritze ein definiertes Volumen an Luft entnommen. So lässt sich z. B. mit einer 50-ml-Glasspritze (Gesamtvolumen 55 ml) eine Druckreduzierung auf ca. 300 mbar erreichen. Das würde einem Luftvolumen von etwa 14 ml bei einem 21-ml-Septumglas entsprechen. Der erzeugte Unterdruck kann durch Verwendung von Spritzen unterschiedlichen Volumens variiert werden. Ein großer Unterdruck ist zu empfehlen, um die Bestimmungsgrenze möglichst niedrig zu halten.

### Überführung der Bodenluft in das „evakuierte“ Septumglas mit Hilfe der ausgeheizten gasdichten Glasspritze (Mindestvolumen 30 ml).

Zum Befüllen der evakuierten Septumgläser muss durch den Unterdruck im Septumglas die Bodenluft aus der Spritze selbsttätig angesaugt werden. Dies ist gleichzeitig eine zusätzliche Prüfung der Dichtigkeit des Septumglases.

Das angesaugte Volumen ist zu dokumentieren (sowohl im Probenahmeprotokoll als auch im Prüfbericht) und bei der Berechnung der Messwerte zu berücksichtigen.

Die Septumgläser sollten unmittelbar vor der Probenahme vorbereitet (evakuiert) werden. Sie sind an einem Ort zu verschließen, der frei von jenen Stoffen ist, die es zu erkunden gilt. Werden die Septumgläser nicht unmittelbar vor der Probenahme evakuiert, müssen vom Labor Angaben über den angelegten Unterdruck bzw. das zu erwartende Bodenluftvolumen beigefügt sein.

Wichtig ist, dass die Kalibrierung für die nachfolgende Analytik unter ähnlichen Bedingungen erfolgt.

Die chemischen Verfahren bei Direktmessung sind in der VDI-Richtlinie 3865 Blatt 4 (12/2000): „Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft durch Direktmessung“ beschrieben.

### 6.3 Probenahme mit Anreicherungsverfahren - Adsorptionsmittel

Bei der Verwendung von Adsorptionsmitteln sind die Vorgaben des Herstellers zu beachten. Detaillierte Hinweise zur Durchführung sind in der VDI-Richtlinie 3865 (Blatt 2 und 3) enthalten.

Die chemischen Verfahren sind ebenfalls in der VDI-Richtlinie 3865 Blatt 3 (06/1998): „Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft nach Anreicherung an Aktivkohle oder XAD-4 und Desorption mit organischem Lösungsmittel“ beschrieben.

### 7 Probentransport und -Konservierung

Aufgrund der chemischen und physikalischen Eigenschaften der zu untersuchenden Stoffe sind die Proben unter Lichtabschluss zu lagern und zu transportieren.

Die Proben müssen spätestens an dem auf den Entnahmetag folgenden Tag der Untersuchungsstelle übergeben werden. Um vergleichbare Werte für ein Probenahmeverfahren zu erhalten, (für verschiedene Verfahren sind die Werte ohnehin nicht vergleichbar), hat die Analyse der Proben binnen 24 Stunden nach Probeneingang zu erfolgen.

Werden oben genannte Fristen nicht eingehalten, ist von der Untersuchungsstelle (Probenahme und Labor) unter Berücksichtigung des Transports und der sachgerechten Lagerung die tolerierbare Lagerdauer der Proben experimentell zu belegen (z. B. an Hand von prüfgasbeschickten Proben in verschiedenen Konzentrationsstufen).

Es wird empfohlen, auch bei Einhaltung der Fristen generell eine Überprüfung der Lagerfähigkeit bezüglich der Stoffverluste vorzunehmen.

### 8 Probenahmeprotokolle bzw. -dokumentation

Alle zur Identität und Analytik der Probe notwendigen Daten müssen erfasst werden. Dies sind im Wesentlichen:

- Projektbezeichnung
- Probenehmer
- Bezeichnung der Entnahmestelle
- Probenahmedatum und Uhrzeit
- Entnahmetiefe
- ins Septumglas überführtes Bodenluftvolumen

Ferner sind alle Beobachtungen, die möglicherweise direkt oder indirekt Einfluss auf das Messergebnis haben können, zu dokumentieren, z. B.:

- Durchflussrate und -menge
- Unterdruck
- Totvolumen der Sonden abhängig von der Entnahmetiefe bzw. je laufendem Meter
- Entnahmeverfahren
- Besonderheiten und Beobachtungen bei der Probenahme, wie z. B. nasse Sondenspitze, Hinweise auf Untergrundaufbau durch Sedimentreste an der Spitze
- Oberflächenbeschaffenheit (versiegelt, nicht versiegelt, Makroporen usw.)
- Lufttemperatur und Luftdruck und deren zeitliche Entwicklung
- Niederschläge, Witterungsänderungen

Alle oben genannten Angaben sind in einem Probenahmeprotokoll zu dokumentieren. Ein Muster eines Probenahmeprotokolls ist in der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2: 01/1998 enthalten.

### A-2.1.2.5 Sickerwasser-Untersuchungen

Sickerwasser ist das unterirdische Wasser, das sich z. B. nach einem Niederschlagsereignis oder aus einer undichten Wasserleitung unter dem Einfluss der Schwerkraft durch die wasserungesättigte Bodenzone (deren Poren nicht vollständig mit Wasser erfüllt sind) hin zum tieferliegenden Grundwasser bewegt. Wasser, das sich durch kapillare Saugspannungen, durch Verdunstung und Kondensation oder unter dem Einfluss von Pflanzenwurzeln bewegt oder als Haftwasser auf Kornoberflächen längerfristig unbewegt bleibt, kann im Einzelfall auch zum Sickerwasser gerechnet, bzw. für eine Probenahme und Untersuchung nur schwer von diesem getrennt werden.

Die Bewegungen des Sickerwassers und damit auch die Frachten gelöster Wasserinhaltsstoffe sind wegen der meist inhomogenen Bedingungen im Untergrund nur mit großen Unsicherheiten zu ermitteln. In der ungesättigten Zone vorhandene nichtwässrige Flüssigkeiten können die Sickerwasserbewegung stark einschränken. Die Ergebnisse einer Berechnung nach einfachen Formeln zur Quantifizierung von Sickervorgängen sind daher mit großer Vorsicht zu betrachten. Auf bestehende Unsicherheiten ist vom Gutachter in Berichten explizit hinzuweisen.

Verfahren zur Gewinnung von Sickerwasserproben sind z.B. der Einsatz von Saugkerzen oder Lysimetern. Sie sind u.a. in den Arbeitshilfen der LABO (s.u.) beschrieben. Diese Verfahren sind aufwändig und geben keine verlässlichen Ergebnisse. Daher kommen i.d.R. deutlich einfachere Methoden wie die Elution aus Boden mit Wasser im Schüttelverfahren oder im Säulenschnellverfahren zur Anwendung (Eluate).

### Gesetzliche Anforderungen

Ein häufiger Anlass für die Gewinnung und Untersuchung von Sickerwasserproben ist die Durchführung einer Sickerwasserprognose. § 12 (3) BBodSchV verlangt:

*„Wird bei Untersuchungen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser ein Prüfwert [...] am Ort der Probenahme überschritten, soll durch eine Sickerwasserprognose abgeschätzt werden, ob zu erwarten ist, dass die Konzentration dieses Schadstoffs im Sickerwasser am Ort der Beurteilung den Prüfwert [...] übersteigen wird.“*

Die Anlage 2 der BBodSchV unterscheidet Prüfwerte am Ort der Probenahme und Prüfwerte am Ort der Beurteilung, dem „Übergangsbereich von der wasserungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone“. Wird ein Prüfwert am Ort der Probenahme überschritten, ist in einer Sickerwasserprognose zu betrachten, in welchem Maße dieser Schadstoff in der ungesättigten Bodenzone zurückgehalten oder abgebaut wird.

Die Sickerwasserprognose ist nach § 2 BBodSchV als eine „Abschätzung“ definiert, nicht als eine Messung. Sie muss beantworten, welche Stoffmengen und Konzentrationen aktuell und vor allem in Zukunft das Grundwasser erreichen können. Die BBodSchV beschreibt in §14 verschiedene Möglichkeiten für die Erstellung einer Sickerwasserprognose und nennt die zu beachtenden Randbedingungen. Sie gibt aber keine konkrete Vorgehensweise vor und fordert damit konsequent, die komplexe Natur des Pfades Boden-Grundwasser mit einem für den Einzelfall begründeten Vorgehen zu erkunden und zu bewerten.

Zusätzlich kann die Einmischung des Sickerwassers in das Grundwasser in Form einer Einmischprognose nach § 14 (5) berücksichtigt werden.

Bei der Bewertung der Sickerwasserprognose sind weiterhin Einträge über die Bodenluft und in Form von Schadstoff-Phase (§15, Abs. 7) sowie die Schadstofffracht (§15 Abs. 8) zu berücksichtigen.

### Arbeitshilfen der LABO

Zur Unterstützung des Vollzugs wurden von der LABO Arbeitshilfen zur Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen (Stand Juli 2003) und bei Detailuntersuchungen (Stand Oktober 2006, mit redaktionellen Anpassungen Dezember 2008) erarbeitet und unter [www.labo-deutschland.de](http://www.labo-deutschland.de) veröffentlicht. Diese Arbeitshilfen berücksichtigen bei einzelnen Bundesländern bereits vorher vorliegende Unterlagen und sind bundesweit fachlich abgestimmt. Sie geben konkrete Hinweise zu Untersuchungsmethoden und Bewertungsansätzen, stellen umfangreiche Anforderungen an Inhalte und Qualität von Sickerwasserprognosen und enthalten zudem zahlreiche weitergehende Literaturhinweise.

### Empfehlung zur Vorgehensweise

Auf dieser Grundlage kann zusammenfassend folgende bewährte Vorgehensweise empfohlen werden:

1. Hinreichend genaue Untersuchung der Standortbedingungen (inkl. konzeptionelles Standortmodell)
2. Aufstellen einer möglichst plausiblen Stoffmengenbilanzierung: Wie viel wurde auf welchem Wege in den Boden eingetragen? Wie viel ist dort noch vorhanden? Wie viel kann wo im tieferen Untergrund noch „gefangen“ sein? Wie viel ist schon lange mit dem Grundwasser verlagert worden usw.?
3. Ergänzung und Absicherung dieser Überlegungen durch an den Einzelfall angepasste Untersuchungen und ggf. überschlägige Berechnungen nach den Arbeitshilfen der LABO

Numerische Berechnungen zur Sickerwasserprognose setzen unterschiedliche Abstraktionen und Vereinfachungen voraus. Auch damit bleibt aber eine Vielzahl von Parametern zu berücksichtigen, die oft nicht exakt bekannt oder nur überschlägig quantifizierbar sind. Dies kann die mit den Berechnungen beabsichtigte Abbildung der realen Vorgänge ggf. stark beeinträchtigen. In jedem Fall sind zusammen mit den Ergebnissen numerischer Berechnungen zur Sickerwasserprognose auch Aussagen zur Ergebnisunsicherheit zu fordern (siehe auch Informationsblatt AH BoGwS aktuell 14/2009, zu beziehen unter [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de)).

### A-2.1.2.6 Grundwasser-Untersuchungen

Grundwasseruntersuchungen dienen der Beschaffung von Informationen und Entscheidungsgrundlagen. Dies können u. a. sein

- das Ermitteln der Beschaffenheit des Grundwassers in seiner räumlichen Verbreitung und seiner zeitlichen Veränderung,
- das Rekonstruieren der Entstehung einer bestimmten Grundwasserbeschaffenheit einschließlich anthropogen verursachter Stoffeinträge durch Sickerwasser und/oder nichtwässrige Flüssigkeiten,
- das Ermitteln und Quantifizieren von Stoffmigrationen mit dem Grundwasserstrom,
- das Erkennen, Beobachten und Prognostizieren von physikalischen, chemischen und/oder biologischen Prozessen im Grundwasser,
- das Überwachen und ggf. Beeinflussen und Steuern von Prozessen im Grundwasser zur Beweissicherung und/oder Verbesserung der Grundwasserbeschaffenheit

und vieles mehr.

Je nach Aufgabenstellung und konkreter Situation, je nach bereits vorliegendem Kenntnisstand, nach Informationsbedarf und Anforderungen an Präzision und Zuverlässigkeit der benötigten Informationen muss dann das Grundwasser an bestimmten Stellen zugänglich gemacht (= aufgeschlossen) und beprobt werden, damit aus den Ergebnissen der untersuchten Stichproben verlässliche Rückschlüsse auf das gesamte zu betrachtende Grundwasser gezogen bzw. die jeweiligen Fragen beantwortet werden können.

Zusammenstellungen möglicher Aufschlussverfahren enthalten z. B. DIN EN ISO 22475-1: 2022-02, die DVGW-Arbeitsblätter W 115 und W 121 (s.u.). Zu beachten ist, dass jeder künstliche Grundwasseraufschluss die Beschaffenheit des Grundwassers und seine hydraulische Situation zumindest im nahen Umfeld des Aufschlusses beeinträchtigt.

- (1) Die Analysenergebnisse von Grundwasserproben lassen sich nur interpretieren und bewerten, wenn bekannt ist, woher die Proben stammen und welche Abschnitte eines Grundwasserkörpers sie repräsentieren. Dazu müssen
  - die Errichtung von Grundwassermessstellen,
  - die hydraulische und hydrochemische Charakterisierung der Messstellen,
  - die Grundwasserprobenahme und
  - die begleitenden Messungen zur Probenahme,sorgfältig und fachgerecht geplant, durchgeführt und dokumentiert werden.
- (2) Mit der Planung einer Grundwassermessstelle ist sicherzustellen, dass sie den für die vorgesehenen Untersuchungen erforderlichen Einzugsbereich erfasst, auch bei wechselnden Grundwasserständen. Notwendiger Bestandteil der Dokumentation sind auch hydrogeologische Skizzen zur Anbindung der Messstelle an den Grundwasserleiter. Rammfilter sind nur für eingeschränkte Fragestellungen geeignet (siehe auch Informationsblatt AH BoGwS aktuell 20/2018; zu beziehen unter [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de)).
- (3) Die Bohrarbeiten zur Errichtung der Grundwassermessstelle sind in der Regel geowissenschaftlich zu begleiten. Es ist sicherzustellen, dass eine geologische Profilaufnahme vorgenommen wird. Zu Beginn des Betriebs einer Grundwassermessstelle sind mit Hilfe geeigneter Verfahren ihre hydraulischen und hydrochemischen Eigenschaften zu ermitteln. Dazu gehört eine Grundwasserprobenahme zur Erstcharakterisierung gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 112 (s.u.). Die Feldparameter/Vor-Ort-Parameter (Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential [= „Redox-Spannung“ nach DIN 38404-6], elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Witterungsangaben) sind während der Grundwasserprobenahme kontinuierlich zu beobachten

und in festgelegten Zeitabständen aufzuzeichnen. Zudem sind innerhalb der Messstelle Profile der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit vor und nach der ersten Probenahme aufzunehmen sowie evtl. vorhandene vertikale Strömungen zu überprüfen.

- (4) Der fertiggestellte Ausbau einer Grundwassermessstelle ist in der Regel durch eine geophysikalische Vermessung zu überprüfen. Sofern im Einzelfall darauf verzichtet wird, ist dies in der Messstellendokumentation zu vermerken und zu begründen. Bei unsicherer Schichtenfolge kann auch eine geophysikalische Bohrlochvermessung direkt nach Abschluss der Bohrung zur Optimierung des Ausbaus der Grundwassermessstelle erforderlich werden.
- (5) Zustand und Funktionsfähigkeit einer Grundwassermessstelle müssen für die Dauer ihrer Nutzung sichergestellt sein. Bestehen Zweifel an der Funktionsfähigkeit, insbesondere nach längeren Nutzungspausen oder bei auffälligem hydraulischem Verhalten (z. B. starke Wasserspiegelabsenkung trotz gut durchlässigem Grundwasserleiter), ist sie zu überprüfen und ggf. wiederherzustellen; DVGW W 129 (A) (2012-05: Eignungsprüfung von Grundwassermessstellen) ist zu beachten. Die chemische Analyse von Wasserproben, die aus nicht funktionsfähigen Grundwassermessstellen gewonnen wurden, ist in der Regel nicht zweckmäßig.
- (6) Insbesondere wenn zeitliche Entwicklungen der Grundwasserbeschaffenheit beobachtet werden sollen, ist sicherzustellen, dass vergleichbare Wasserproben gewonnen werden. Hierzu sind die konkreten Probenahmebedingungen und der Verlauf der Probenahme zu planen, zu beobachten und zu dokumentieren. Z. B. sind Pump- und Schöpfproben in der Regel nicht direkt vergleichbar, was bei Auswertungen und Bewertungen zu berücksichtigen und auf jeden Fall im Bericht zu erläutern ist.

### Wasserprobenahme

Für die Probenahme von Grundwasser ist DIN 38402-13 (Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Allgemeine Angaben (Gruppe A) - Teil 13: Planung und Durchführung der Probenahme von Grundwasser (A 13)) zu beachten. Das DVGW Arbeitsblatt W 112 (A) (2011-10: Grundsätze der Grundwasserprobennahme aus Grundwassermessstellen; eine Zusammenfassung der ehem. DVWK-Regel 128/ 1992 und des DVWK-Merkblatts 245/1997) enthält weitere Anforderungen an Probenahmestellen, Untersuchungsumfang, Repräsentativität, Dokumentation und Auswertung.

- Ein Beispiel für ein vollständiges Probenahmeprotokoll hat das Bayerische Landesamt für Umwelt Merkblatt Nr. 3.8/6, Anhang 5 zur Verfügung gestellt:  
[https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil3\\_grundwasser\\_und\\_boden/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil3_grundwasser_und_boden/index.htm)
- Zum Abpumpen von Grundwassermessstellen siehe auch Informationsblatt AH BoGWS aktuell 17/2015 (zu beziehen unter [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de)).
- Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit sind in der DVWK-Schrift 125/1999 festgelegt.
- Anforderungen an die Konservierung und Handhabung der Proben enthält darüber hinaus DIN EN ISO 5667-3:2019-07
- Länderspezifische wasserrechtliche Vorschriften und kommunale Vorgaben, z. B. hinsichtlich der Ableitung des geförderten Wassers bzw. der Entsorgung kontaminierten Wassers, sind zu berücksichtigen.

Die Entnahme von Wasserproben aus Oberflächengewässern wird in ISO 5667-4:2016-06 (natürliche und künstliche Seen) und ISO 5667-6:2014-07 (Fließgewässer) geregelt.

**Hinweise zur Erstellung und Nutzung von Grundwassermessstellen**

Folgende Regelwerke werden zur Beachtung empfohlen (siehe auch [www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)):

	<b>Nummer</b>	<b>Titel</b>	<b>Ausgabe</b>
Arbeitsblatt	W 110 (A)	Bohrlochgeophysik in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen	05/2019
Arbeitsblatt	W 111	Pumpversuche bei der Wassererschließung	03/2015
Arbeitsblatt	W 112	Grundsätze der Grundwasserprobenahme aus Grundwassermessstellen	10/2011
Arbeitsblatt	W 113	Bestimmung von Schüttgütern für den Bau von Brunnen im Lockergestein	12/2020 Entwurf
Arbeitsblatt	W 115	Bohrungen zur Erkundung, Beobachtung und Gewinnung von Grundwasser	07/2008
Arbeitsblatt	W 116	Verwendung von Spülmittelzusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwassermessstellen- und Brunnenbau	12/2019
Merkblatt	W 119	Entwickeln von Brunnen durch Entsandungen - Anforderungen, Verfahren, Restsandgehalte	12/2002
Arbeitsblatt	W 119	Entwickeln von Brunnen	12/2022 Entwurf
Arbeitsblatt	W 121	Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen	07/2003
Arbeitsblatt	W 122	Abschlussbauwerke für Brunnen der Wassergewinnung	08/2013
Arbeitsblatt	W 123	Bau und Ausbau von Vertikalfilterbrunnen	09/2001
Merkblatt	W 124	Kontrollen und Abnahmen beim Bau von Vertikalfilterbrunnen	11/1998
Information	Wasser Nr. 111	Hinweise für die Funktions- und Eignungsprüfung von Grundwassermessstellen	06/2022
Arbeitsblatt	W 129	Eignungsprüfung von Grundwassermessstellen	05/2012
Arbeitsblatt	W 130	Brunnenregenerierung	10/2007
Arbeitsblatt	W 135 (A)	Sanierung und Rückbau von Brunnen, Grundwassermessstellen und Bohrungen	12/2018

Bei der Ausschreibung von Arbeiten zur Errichtung von Grundwassermessstellen kann auf Positionen aus dem Standardleistungsbuch-Bau 04/2022 zurückgegriffen werden. Dort sind im Leistungsbereich 005 „Brunnenbauarbeiten und Aufschlussbohrungen“ die notwendigen Positionen enthalten.

### A-2.1.2.7 Überwachung durch wiederholte Messungen (Monitoring)

Stoffgehalte in den verschiedenen Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft, siehe unten) können sich im Laufe der Zeit verändern, mit oder ohne menschliche Einflussnahme. Auch Druckpotenziale und damit das Strömungsverhalten beweglicher Medien sind veränderlich.

Zur Untersuchung von zeitlichen Veränderungen sind wiederholte Messungen, Beobachtungen und/oder Probenahmen erforderlich. Deren Häufigkeit und Dauer hängen von der jeweiligen Aufgabenstellung und der erforderlichen Aussagegesicherheit ab und müssen für den Einzelfall geplant und begründet und ggf. an Veränderungen angepasst werden.

Zu unterscheiden ist zwischen zyklischen Veränderungen, wie sie z. B. durch Gezeiteinfluss oder jahreszeitlich bedingte Schwankungen im Wasserhaushalt auftreten, und Trends, die durch geänderte Bedingungen oder kurzfristige Ereignisse ausgelöst werden. Sind die Mechanismen zyklischer Veränderungen einmal bekannt, kann der Monitoringaufwand in der Regel auf gezielte Stichproben zur Beweissicherung begrenzt werden. Der erforderliche Aufwand bei der Beobachtung von Trends hängt vor allem von der Dynamik der beteiligten Prozesse ab und ist nach dem im Einzelfall vorhandenen Informationsbedarf festzulegen und iterativ anzupassen.

Voraussetzung für die Planung eines erfolgreichen Monitorings ist ein hinreichend umfassendes Standort- und Prozessverständnis sowie die Berücksichtigung gegebener Randbedingungen. Je nach Situation und Aufgabenstellung sind die folgenden, für den Einzelfall maßgeblichen, beispielhaft aufgezählten Fragen zu beantworten:

- Welche Stoffe und Reaktionen sind maßgeblich beteiligt?
- Welche Stoffmengen sind zu betrachten und wie ist deren räumliche Verteilung?
- Wo und wie bewegen sich strömende Medien? Sind Schwankungen bei Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung zu erwarten?
- Welche Bereiche des Untergrunds erfassen die jeweiligen Messstellen? Wie ist der Ausbau? Wie ist die Probenahme darauf auszurichten (z. B. Einhängetiefe Pumpe, Volumenstrom, Menge des vor der Probenahme abzupumpenden Wassers (hydraulisches Kriterium))
- Woher stammen die untersuchten z. B. Grundwasserproben bezogen auf den gesamten zu betrachtenden Grundwasserstrom? Werden einzelne Abschnitte unterschiedlich durchströmt?
- Wie schnell können sich Stoffgehalte räumlich und zeitlich ändern, wo und wie oft muss also beobachtet werden? Gibt es z. B. jahreszeitliche oder andere Schwankungen im Wasserhaushalt, die sich auf die Grundwasserqualität auswirken?
- Was sind mögliche Ursachen für Veränderungen?
- Ist mit kleinräumig unterschiedlichen Sickerwasser- bzw. Grundwasserneubildungsraten zu rechnen und sind diese im Jahresverlauf konstant?
- Wo sind kapillare Bewegungen möglicherweise von Relevanz?
- Ist mit nichtwässrigen Flüssigkeiten zu rechnen, die sich verlagern können oder die die Wasser- und Bodenluftbewegungen beeinflussen können?
- Welche Einflüsse haben die Einrichtung neuer Messstellen und der Probenahmevergang?
- Wie lange soll das Monitoring laufen? Welches sind Abbruchkriterien und wer legt sie fest?
- Gibt es externe Einflüsse die sich ggf. ändern können (Wasserentnahmen, Wasserhaltungen, Immissionen usw.) und die abzufragen bzw. zu erfassen wären?
- Gibt es wasserrechtliche Erlaubnisse, die durch Probenahmen oder Pumpversuche beeinträchtigt werden könnten?

- Wo kann abgepumptes Wasser bei der Probenahme und bei Pumpversuchen eingeleitet werden?
- Sind Aspekte des Nachbarschafts- und Naturschutzes (z. B. Brut- und Setzzeit) zu berücksichtigen?

Teilaspekte dieser Fragen werden erst durch Beobachtungen während des Monitorings beantwortet werden können. Es ist aber wichtig, die Fragen schon bei der Planung des Monitorings zu stellen und ihre Beantwortung in dem für die jeweilige Aufgabenstellung erforderlichen Umfang durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen.

Daher ist ein Monitoring mindestens so sorgfältig zu planen wie eine einzelne Messung oder Probenahme und ggf. iterativ anzupassen. Dabei muss die Aufgabenstellung im Vordergrund stehen, und auch die Auswertung und die maßgeblichen Beurteilungsmaßstäbe sind vorab festzulegen. Alle erfassten Messwerte sind in die Auswertung einzubeziehen und mögliche Ursachen für Messwertabweichungen kritisch zu beurteilen, z.B.

- Verschleppungen zwischen Messstellen,
- Veränderungen der Messstelleneigenschaften (zunehmende Verockerung/Versandung),
- wechselnde Probenahmedetails (z. B. Unterschiedliche Einhängtiefen, Pumpraten, Förderzeiten/-volumen),
- Wechsel der Bearbeiter oder des Labors.

Kriterien für eine Anpassung eines Monitoring-Programms und für dessen Laufzeit sind frühzeitig zu vereinbaren. Wenn auf der Basis der Ergebnisse eines Monitorings keine Entscheidungen getroffen werden, ist das Monitoring als Entscheidungsgrundlage verzichtbar.

Maßgeblich für die Auswertung ist die Betrachtung analysierter Einzelsubstanzen. Die alleinige Betrachtung von aufsummierten Parametern (z. B. BTEX, LCKW, PAK, PFC) ist beim Monitoring fachlich nicht akzeptabel, da dadurch wichtige Informationen vernachlässigt und u. U. Trends verschleiert werden (siehe auch Anhang

A-2.1.2.9). Nicht nur die Gehalte, auch die Mengenverhältnisse einzelner Substanzen einer Stoffgruppe untereinander (Stoffspektrum) sind bei einem Monitoring in der Regel auszuwerten und darzustellen.

Bei grafischen Darstellungen ist deutlich zu machen, ob die einzelnen Ergebnisse nur nebeneinander gestellt werden oder ob sie mit einer linearen Zeitachse dargestellt werden.

In der Regel sind mindestens fünf Beobachtungen in geeigneten Zeitabständen erforderlich, bevor eine Aussage über zeitliche Veränderungen getroffen werden sollte.

### Grundwasser-Monitoring

Für ein Grundwasser-Monitoring sind Qualitätsmessstellen erforderlich. Rammfilterbrunnen sind vor allem hinsichtlich ihrer hydraulischen Position im Grundwasserleiter nicht hinreichend bestimmbar und können keine reproduzierbaren Bedingungen für die Probenahme sicherstellen. Sie sind für ein Grundwasser-Monitoring grundsätzlich nicht zulässig.

Generell empfiehlt es sich, bei einem Grundwasser-Monitoring nicht nur die jeweils relevanten Schadstoffe zu beobachten. Unverzichtbar ist bei jeder Wasserprobenahme die Beobachtung der Parameter Sauerstoff, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert und Redoxspannung vor Ort. Bereits dadurch lassen sich u. U. Hinweise auf geänderte Abstrombedingungen oder Verdünnung erkennen. Auch die Analyse der Haupt-Anionen und -Kationen (Ionenverhältnisse oder komplette Ionenbilanz) kann wichtige Erkenntnisse liefern, die im Einzelfall erst eine Interpretation der gemessenen Schadstoffgehalte möglich machen.

Beim Abpumpen von Grundwasser vor wiederholten Probenahmen oder bei Pumpversuchen können erhebliche Mengen (auch kontaminierten) Grundwassers anfallen. Einleitgenehmigungen sind rechtzeitig zu klären.

Bei entsprechenden Aufgabenstellungen sind Gegenüberstellungen von Messwerten (Gehalte, aber auch Verhältnisse von Einzelsubstanzen) und ebenfalls zeitlich veränderlichen Randbedingungen (Wasserstände, vor Ort gemessene Parameter, Probenahmedetails usw.) ergänzend auszuwerten.

Im Infoblatt AH BoGwS aktuell, Ausgabe 16/2014 wird ein kurzer Überblick zum Grundwasser-Monitoring mit beispielhaften Erläuterungen gegeben (Bezug über [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de)).

### **Bodenluft-/Deponiegas-Monitoring**

Für die Beobachtung gas- oder dampfförmiger Stoffe sind in der Regel dauerhaft eingerichtete Messstellen oder andere Einrichtungen zur Erfassung von Ausgasungen erforderlich. Die Bedingungen bei mobilen Sonden sind meist nicht hinreichend reproduzierbar.

Zusätzlich zu analytischen Messungen ist besonders auf die atmosphärischen Bedingungen (Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Niederschläge usw. sowie deren Veränderungen im Vorfeld der Beobachtungen) zu achten, die die Ergebnisse von Probenahmen und Messungen beeinflussen können. Der erforderliche Mess- und Dokumentationsumfang ist im Einzelfall festzulegen.

### **Boden-Monitoring**

Wiederholte Beobachtungen der Bodenqualität im Rahmen eines Monitorings spielen bisher bei der Bearbeitung von KF keine Rolle.

Die Bundesländer betreiben ein Netz von Boden-Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltüberwachung auf landwirtschaftlich und forstlich genutzten Böden. Das Umweltbundesamt führt die Daten in einem Fachinformationssystem zusammen und hat die Möglichkeit, länderübergreifende Auswertungen durchzuführen (siehe <https://www.umweltbundesamt.de>). Methodische Anleitungen enthält DIN EN ISO 16133:2019-07 Bodenbeschaffenheit - Leitfaden zur Einrichtung und zum Betrieb von Beobachtungsprogrammen.

LABO (2017): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden - 4. überarbeitete und ergänzte Auflage ([https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO\\_Fassung\\_HGW\\_Bericht\\_02\\_2017.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_Fassung_HGW_Bericht_02_2017.pdf); Zugriff: 2023-03-08), dort auch Hinweise auf Forschungsprojekte des UBA.

Als Beispiele für Bundesländer-spezifische Informationsseiten seien genannt (Zugriff: 2023-03-08):

<https://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/index.htm>

[https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/boden/bodenschutz/HGW\\_Internet\\_2003-3.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/boden/bodenschutz/HGW_Internet_2003-3.pdf)

[https://numis.niedersachsen.de/kartendienste?lang=de&topic=boden&bgLayer=maps\\_omniscale\\_net\\_osm\\_web-mercator\\_1&E=1013007.37&N=6912886.50&zoom=8](https://numis.niedersachsen.de/kartendienste?lang=de&topic=boden&bgLayer=maps_omniscale_net_osm_web-mercator_1&E=1013007.37&N=6912886.50&zoom=8)

### A-2.1.2.8 Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse

#### Grundlagen

Seit Ende der 1990er Jahre wurde in Deutschland immer ausführlicher über den natürlichen Rückhalt und Abbau von Schadstoffen in Böden und Grundwasser diskutiert. Sicher ist, dass dieser Rückhalt und Abbau seit jeher existiert, auch wenn diese Prozesse bis dahin in Deutschland nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Im US-Amerikanischen Raum ist dagegen schon seit langem von „natural attenuation“ (NA) die Rede. „Monitored natural attenuation“ (MNA) wird dafür verwendet, wenn zusätzlich eine Überwachung der Prozesse stattfindet. Gemäß §2 (17) BBodSchV sind unter dem Begriff natürliche Schadstoffminderung alle biologischen, chemischen oder physikalischen Prozesse zu verstehen, die zu einer Verringerung der Masse, des Volumens, der Fracht, der Konzentration, der Toxizität oder der Mobilität eines Schadstoffes im Boden oder im Grundwasser führen.

Ein „MNA-Konzept“ kann als Alternative zu einer aktiven Sanierungsmaßnahme akzeptiert werden, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind. Dies sind vor allem:

- Andere, aktive Sanierungsmaßnahmen sind nicht (mehr) verhältnismäßig.
- Es erfolgte eine Sanierung der Schadstoffquelle bzw. eine Reduktion des Schadstoffaustrags.
- Es findet ein natürlicher Schadstoffabbau statt, der hinreichend quantifizierbar ist.
- Die Schadstofffahne im Grundwasser ist schrumpfend oder quasi stationär.

Weiterhin ist §17 (4) BBodSchV zu beachten. Werden die natürlicherweise ablaufenden Prozesse technisch durch hydraulische, biologische oder chemische Verfahren unterstützt, wird dafür der Begriff „Enhanced Natural Attenuation“ (ENA) verwendet.

Begriffsdefinitionen und Empfehlungen für die praktische Vorgehensweise sind übersichtlich im Positionspapier „Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung“ der LABO (Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, Ständiger Ausschuss Altlasten – ALA, Ad-hoc Unterausschuss „Natürliche Schadstoffminderung“) zusammengestellt (ursprüngliche Version vom 10.12.2009).

Mit Stand vom 15.09.2015 wurde das Positionspapier um den neuen Anhang 3 "Empfehlungen zur Verhältnismäßigkeitsbetrachtung bei der Entscheidung über die Durchführung von MNA" erweitert und umbenannt in „Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung bei der Altlastenbearbeitung“: [www.labo-deutschland.de](http://www.labo-deutschland.de). Die Umweltministerkonferenz hat der Veröffentlichung des aktualisierten Positionspapiers durch Umlaufbeschluss (Umlaufverfahren Nr. 22/2015) zugestimmt.

Auf Vorschlag der LABO wurde vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ – eine „Auswertung von MNA-Konzepten in Deutschland - Zustandsanalyse“ in Auftrag gegeben und unter fachlicher Begleitung des ständigen Ausschusses „Altlasten“ (ALA) der LABO durchgeführt. Gegenstand ist eine Analyse zur Bandbreite behördlichen Handelns bei der Umsetzung von MNA-Konzepten, orientiert an den Empfehlungen des LABO-Positionspapiers „Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung bei der Altlastenbearbeitung“. Der Schlussbericht vom 28.11.2014 zu dieser Auswertung ist auf der Website des UFZ (<https://www.ufz.de/index.php?de=38856>; Zugriff: Mai 2020) verfügbar.

Das Positionspapier zeigt einen Weg auf, wie die zuständigen Bodenschutzbehörden ihr Ermessen ausüben können und im Rahmen der Verhältnismäßigkeitsprüfung von Maßnahmen über die Beobachtung von natürlichen Schadstoffminderungsprozessen auf der Basis eines „MNA-Konzepts“ entscheiden können. Es wird jedoch auch verdeutlicht, dass es sich hierbei immer um eine

Einzelfallentscheidung handelt, die in enger Abstimmung zwischen Pflichtigem und Behörde getroffen werden sollte.

Neben dem Positionspapier der LABO bieten die Internetseiten des BMBF-Förderschwerpunktes KORA („Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Böden und Grundwässer“) unter [www.natural-attenuation.de](http://www.natural-attenuation.de) einen guten Einstieg zur Suche nach speziellen Informationen.

### Gefährdungsabschätzung

Natürliche Schadstoffminderungsprozesse sind bei der Gefährdungsabschätzung als Standortgegebenheit (wie z. B. die geologischen oder hydrogeologischen Gegebenheiten) zu betrachten. Nach §13 (6) BBodSchV müssen sie spätestens in der Phase IIb wie alle anderen Standortgegebenheiten im erforderlichen Umfang untersucht und gewürdigt werden. Grundsätzlich ist auch in der wasserungesättigten Bodenzone der natürliche Abbau und Rückhalt von Schadstoffen bei der Gefährdungsabschätzung zu berücksichtigen. Nur wenn die Schadstoffminderungsprozesse identifiziert und hinreichend quantifizierbar sind, können sie gemäß §17 BBodSchV (2021) im Rahmen der Entscheidung über Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

### Praxisbezogene Anwendung

Natürliche Rückhalte- und Schadstoff-Abbauprozesse sind dahingehend zu beurteilen, ob sie für eine wirtschaftliche Gefahrenbeseitigung kontrolliert genutzt bzw. unterstützt werden können.

Zum Abbau von organischen Schadstoffen (z. B. MKW, BTEX, LHKW, PAK, Nitroaromaten) ist eine ausreichende Verfügbarkeit von Elektronenakzeptoren erforderlich. Die Ermittlung des Abbaupotenzials erfolgt im Rahmen der Boden- bzw. Grundwasseruntersuchung. Sofern nicht bereits Kenntnisse bezüglich der Grundwasserbeschaffenheit vorliegen, sind folgende Parameter zu ermitteln:

1. pH-Wert, Leitfähigkeit, Redoxspannung, Sauerstoff, Nitrat, Sulfat, Phosphat und Kohlendioxid
2. Ergänzend ggf. Eisen II und III, Mangan II und IV, Ammonium, Nitrat, Nitrit, Methan, DOC, Säurekapazität, Chlorid sowie die Haupt-Kationen Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium

Signifikante Differenzen zwischen den Konzentrationen dieser Parameter im unbelasteten Anstrom und den Konzentrationen im belasteten Bereich bzw. im Abstrom dienen als Nachweis für stattfindende Abbauprozesse im Grundwasserleiter und ermöglichen eine Abschätzung des Abbaupotenzials.

Der Nachweis, dass ausreichend Abbaupotenzial zur Verfügung steht, muss kontinuierlich erbracht werden. Dazu sind zeitlich gestaffelte Untersuchungen zu vergleichbaren Bedingungen notwendig. Im Zuge dieser Untersuchungen kann der Umfang auf die wesentlichen Parameter, die für den jeweiligen Standort an den Abbauprozessen beteiligt sind, reduziert werden.

### A-2.1.2.9 Parameterauswahl - Einsatz von Summenparametern

Die Auswahl der gemäß Untersuchungsprogramm zu untersuchenden Parameter muss vor der Durchführung einer Probenahme erfolgen, da diese in der Regel darauf ausgerichtet werden muss.

Die Untersuchung eines bestimmten Parameters dient zudem stets einem bestimmten Zweck. Dies kann z. B. die Charakterisierung eines Materials sein, eine Überwachung, die Eingrenzung einer Kontamination, eine Plausibilitätsprüfung anderer Messungen oder auch die Erfüllung behördlicher Auflagen. Kein Parameter sollte ohne konkrete Aufgabe untersucht werden, d. h., die Messergebnisse für jeden Parameter müssen auch ausgewertet, angemessen dargestellt und beurteilt werden. Allein eine Auflistung der untersuchten Parameter sowie der Messergebnisse ist (sofern nicht ausdrücklich so vereinbart) nicht ausreichend.

Die Auswahl der zu untersuchenden Parameter ist im Untersuchungsplan zu begründen.

Neben den stoffspezifischen Parametern werden oft auch sog. „Summenparameter“ untersucht. Diese resultieren zum einen aus Untersuchungsverfahren, die funktionale Eigenschaften bestimmter Stoffgruppen nutzen, wie z. B. TOC (gesamter organischer Kohlenstoff), CSB (chemischer Sauerstoffbedarf), EOX oder AOX (eluierbare/adsorbierbare halogenierte Kohlenwasserstoffe) oder der sog. Phenolindex.

Ein anderer oft genutzter Parameter ist der „Mineralölkohlenwasserstoff-Index“ MKW. Dieser soll als Maß für die Menge einer Vielzahl vorhandener Kohlenwasserstoffverbindungen dienen und wird berechnet nach einer gaschromatischen Detektion mit Integration des Chromatogramms unter der Annahme, dass es sich um ein Gemisch aus Diesel und Schmieröl handelt. Da das Stoffgemisch in der Praxis auch ganz anders zusammengesetzt sein kann, stellen die Messwerte nur einen Index dar und keinen realen Stoffgehalt (obwohl auch der Index in mg/l oder

mg/kg angegeben wird). Das Untersuchungsergebnis bedarf in jedem Fall einer zusätzlichen Erläuterung. Die Chromatogramme sind stets zur Auswertung heranzuziehen. Ausgewählte typische Chromatogramme sind im Untersuchungsbericht darzustellen und zu erläutern (siehe auch Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2005): Auswertung von Mineralöl-Gaschromatogrammen.- Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 5).

Andere „Summenparameter“ (z. B. BTEX, LHKW, PAK, PCB, PFC) entstehen durch reines Aufsummieren der zuvor separat bestimmten einzelnen Verbindungen. Diese Vorgehensweise wurde in der Vergangenheit vor allem für eine rasche orientierende Beurteilung genutzt, ist aber ohne Betrachtung der Gehalte und Verteilung der Einzelstoffe für eine Gefährdungsabschätzung nicht ausreichend.

Dies ist auch dadurch begründet, dass bei einigen Summenparametern der Umfang der zu summierenden Einzelstoffe nicht eindeutig festgelegt oder Veränderungen unterworfen ist.

Zum Beispiel ist bei BTEX die Anzahl der Einzelstoffe in der Anlage 2 der BBodSchV (2021) festgelegt als: Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol. Die BBodSchV enthält für BTEX ausschließlich Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser. Werden Gehalte im Feststoff für eine abfallrechtliche Bewertung nach EBV untersucht, fließen in den Summenparameter BTEX jedoch neben Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol auch Styrol und Cumol ein. Die Zusammensetzung der Summe ist hier also abhängig von der rechtlichen Grundlage. Die Definition des Parameters LHKW in der Anlage 2 der BBodSchV ist für die praktische Umsetzung nicht anwendbar. Es gibt theoretisch hunderte von halogenierten C1- und C2-Kohlenwasserstoffen, von denen nur einige praktisch relevant und mit vertretbarem Aufwand analysierbar sind. Der aufsummierte Wert wird dadurch abhängig davon, welche und wie viele Verbindungen bestimmt werden. In jedem Fall muss bei der Ver-

wendung von Summenparametern nachvollziehbar sein, welche Einzelergebnisse für die Summenbildung herangezogen wurden (§24 BBodSchV).

In der Methodensammlung Feststoffuntersuchung, herausgegeben vom LAGA Forum Abfalluntersuchung und dem Fachbeirat Bodenuntersuchung (FBU) finden sich im Abschnitt II.7.2 (Abfall-/Boden- und Altlastenuntersuchungsrelevante organische Stoffgruppen) Auflistungen und Empfehlungen dafür, welche Verbindungen den jeweiligen Stoffgruppen (BTEX, Chlorbenzole, Chlorphenole, LHKW, PAK, PCB, PFC usw.) zuzurechnen sind (siehe <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/kommissionen-beiraete/fachbeirat-bodenuntersuchungen-fbu>).

Zum anderen haben die aufsummierten Verbindungen oft unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich ihrer Mobilität, ihres natürlichen Abbauverhaltens, ihrer toxikologischen Eigenschaften usw. Eine Gefahrenbeurteilung über einen aufsummierten Parameter wird dadurch sehr unsicher. Die Möglichkeiten einer Summenbildung über Toxizitätsäquivalente (wie etwa bei Dioxinen oder PFC) sind für verschiedene Stoffgruppen unterschiedlich und oft wissenschaftlich noch nicht ausreichend abgesichert.

Bei der Beobachtung der räumlichen und zeitlichen Ausbreitung der Stoffe, gehen wichtige Informationen verloren, wenn allein die „Summenwerte“ betrachtet werden. Auch lassen sich selektiver natürlicher Abbau und die Wirksamkeit einiger Sanierungsverfahren nur mit Betrachten der Einzelstoffe beurteilen. Ggf. ist es z. B. bei Überwachungen ausreichend und zielführender, nur bestimmte Einzelstoffe zu betrachten, statt alle, die üblicherweise zu einem „Summenwert“ gehören (siehe auch Parameterauswahl/Summenparameter beim Grundwassermonitoring im Infoblatt AH BoGwS aktuell, Ausgabe 16/2014; Bezug über [www.leitstelle-des-bundes.de](http://www.leitstelle-des-bundes.de)).

### Spezielle Parameter bei Kontaminationen durch Vergaserkraftstoffe - MTBE

Seit den 1980er Jahren wird in Deutschland Methyl-tertiär-butylether (MTBE) und untergeordnet auch tert-Amylmethylether (TAME) zur Verbesserung von Vergaserkraftstoffen eingesetzt (in den USA bereits wesentlich eher). Dieser Stoff ist biologisch kaum abbaubar und kann sich gut in Grund- und Oberflächengewässern ausbreiten. Er ist daher von besonderer Relevanz für Trinkwassernutzungen. In jüngster Zeit wird der Einsatz von MTBE in Kraftstoffen aufgrund von Steuervergünstigungen für Bio-Kraftstoffe fast vollständig durch Ethyl-tertiär-butylether (ETBE) ersetzt. Dieser Stoff hat aus Sicht des Grundwasserschutzes ähnlich problematische Eigenschaften wie MTBE. Als Folge wurde der GFS der LAWA 2016 angepasst: Es gilt ein zusammenfassender GFS für alle Etheroxygenate (MTBE, ETBE und TAME) von 5 µg/l, wobei der Anteil an ETBE maximal 2,5 µg/l betragen darf (s. GFS 2016, <https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeits-bericht-seite-001-028-1552302313.pdf>).

Bei Kontaminationen durch Vergaserkraftstoffe sind die laboranalytischen Untersuchungen der Nutzungshistorie des Standortes anzupassen und erforderlichenfalls auch die Parameter MTBE und ETBE zu berücksichtigen.

### A-2.1.2.10 Untersuchung und Bewertung von leichtflüchtigen Substanzen

Das Ausgasen leichtflüchtiger Substanzen ist bei der Probenahme soweit wie möglich zu minimieren. Daher ist die Entnahme von Proben unmittelbar nach dem Ziehen der Rammkernsonde, dem Auftrennen des Liners bzw. der frisch abgeschälten Schurfwand zügig durchzuführen. Gegebenenfalls werden zunächst mehrere Proben entnommen und in Abhängigkeit vom Schichtenaufbau erfolgt nach der Kernaufnahme die Auswahl der Proben für die Analytik.

Für die Gewinnung der Proben sind geeignete Probenstecher zu verwenden, die das erforderliche definierte Probenvolumen aufnehmen (z. B. abgeschnittene Einwegspritzen entsprechender Größe).

Die Bodenproben sind vor Ort in die Probengefäße zu überführen. Als Probengefäße sind gasdicht verschließbare Gläser mit PTFE-beschichteten Dichtungen oder Septen zu verwenden. Die Gläser enthalten eine definierte Menge an Methanol, in der die leichtflüchtigen Stoffe gelöst werden. Nach dem Befüllen sind die Ränder der Gläser ggf. zu säubern, damit die Dichtheit des Probengefäßes gewährleistet ist.

Das Probenmaterial ist entweder nach dem Befüllen der Gläser mit einem definierten Volumen Methanol zu überschichten oder in Gläser zu überführen, die bereits eine definierte Menge Methanol enthalten.

Die detaillierte geologische Aufnahme des Bohrkerns ist erst nach der Probenahme durchzuführen.

Hinweis: Selbst bei sorgfältigster Ausführung sind nicht quantifizierbare Minderbefunde zu erwarten. Daher sind die Analysenergebnisse als mindestens im Boden enthaltene Schadstoffgehalte zu betrachten. Leichtflüchtige organische Schadstoffe wie Benzol und einige Homologe, Naphthalin und leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe werden ohne Probenvorbehandlung aus der ungetrockneten Feldprobe analysiert. Dazu werden definierte Mengen des Probenmaterials vor Ort in gasdicht verschließbare Glasgefäße übergeführt und mit definierten Volumina Lösungsmittel überschichtet, gasdicht verschlossen und der Analyse zugeführt. Der Trockenmassenanteil (nach DIN EN 15934: 2012-11) ist gesondert in einer separaten Probe zu bestimmen. Dieser ist bei der Angabe der Analysenergebnisse zu berücksichtigen.

In der Methodensammlung Feststoffuntersuchung, herausgegeben vom LAGA Forum Abfalluntersuchung und dem Fachbeirat Bodenuntersuchung (FBU) finden sich im Abschnitt II.7.3 (Organische Analytik Feststoffe) Auflistungen und Empfehlungen zu Messverfahren (siehe <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/kommissionen-bei-raete/fachbeirat-bodenuntersuchungen-fbu>).