



## **Merkblatt Nr. 3.8/4**

**Stand: 10/2023**

**alte Nummer: 3.8/4 von 11/2017**

Ansprechpartner: Referat 96

# **Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen**

Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Grundwasser

### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Allgemeine Hinweise</b>	<b>4</b>
1.1	Ziel und Anwendungsbereich	4
1.2	Qualitätssicherung	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Probenahmeplanung und -durchführung</b>	<b>6</b>
2.1	Allgemeines	6
2.2	Probenahmeplanung	6
2.3	Spartenklärung	6
2.4	Kampfmittelerkundung	7
2.5	Arbeitsschutz	7
2.6	Untersuchungsparameter	8
2.7	Beprobungsmedien	8
2.7.1	Beprobungsmedium Boden	8
2.7.2	Beprobungsmedium Bodenluft	9
2.8	Bohranzeige	9
2.9	Verfüllung von Schürfen und Bohrlöchern	10
2.10	Entsorgung von nicht benötigtem Probengut/Boden	11
<b>3</b>	<b>Probenahmeplanung für die Orientierende Untersuchung</b>	<b>12</b>
3.1	Bodenuntersuchungen bei vermuteten Kontaminationsschwerpunkten	12
3.1.1	Wirkungspfad Boden-Grundwasser	12
3.1.2	Wirkungspfad Boden-Mensch	13

3.2	Bodenuntersuchungen bei flächenhafter oder unbekannter Schadstoffverteilung	15
3.2.1	Wirkungspfad Boden-Grundwasser	15
3.2.2	Wirkungspfad Boden-Mensch	15
3.3	Bodenluftuntersuchungen	16
3.4	Wirkungspfad-übergreifender Probenahmeplan	16
<b>4</b>	<b>Probenahmeplanung für die Detailuntersuchung</b>	<b>17</b>
4.1	Bodenuntersuchungen	17
4.1.1	Wirkungspfad Boden-Grundwasser	17
4.1.2	Wirkungspfad Boden-Mensch	18
4.2	Bodenluftuntersuchungen	18
<b>5</b>	<b>Entnahme von Bodenproben</b>	<b>20</b>
5.1	Allgemeines	20
5.2	Aufschlussverfahren	21
5.2.1	Handbohrung	21
5.2.2	Kleinrammbohrung (sog. Rammkernsondierung)	21
5.2.3	Rammkernbohrung	23
5.2.4	Rotationskernbohrung	23
5.2.5	Schlauchkernbohrung	23
5.2.6	Schurf	24
5.3	Probengewinnung	25
5.4	Bodenansprache und Profilbeschreibung	28
5.5	Dokumentation und Probenahmeprotokoll	29
<b>6</b>	<b>Entnahme von Bodenluftproben</b>	<b>30</b>
6.1	Bodenluftmessstellen	30
6.1.1	Temporäre Messstellen	30
6.1.2	Stationäre Messstellen	31
6.2	Gassammelbehältnisse und Adsorptionsröhrchen	32
6.2.1	Headspace-Gläschen	32
6.2.2	Minicans	32
6.2.3	Glaspipetten	32
6.2.4	Weitere Direkt-Sammelgefäße	32
6.2.5	Adsorptionsröhrchen	32
6.3	Vorgehensweise bei der Bodenluftentnahme	33
6.3.1	Direktverfahren	35
6.3.2	Anreicherungsverfahren	36
6.3.3	Passive Entnahmeverfahren	37
6.4	Dokumentation und Probenahmeprotokoll	37
<b>7</b>	<b>Direct-Push-Verfahren</b>	<b>39</b>
7.1	Definition, Verfahren und Anwendungsbereiche	39
7.2	Sonden zur beprobungslosen Untersuchung	40

---

7.3	Sonden zur Entnahme von Boden- und Bodenluftproben	41
7.4	Vorgehensweise bei der Standortuntersuchung mit DP-Verfahren	41
7.5	Qualitätssicherung und Dokumentation	42
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>43</b>
<b>Anhang 1:</b>	<b>Checkliste zur Qualitätssicherung (Bodenprobenahme)</b>	<b>47</b>
<b>Anhang 2:</b>	<b>Checkliste zur Qualitätssicherung (Bodenluftprobenahme)</b>	<b>48</b>
<b>Anhang 3:</b>	<b>Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenproben</b>	<b>50</b>
<b>Anhang 4:</b>	<b>Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenluftproben</b>	<b>54</b>

## 1 Allgemeine Hinweise

### 1.1 Ziel und Anwendungsbereich

Dieses Merkblatt gilt für die Entnahme von Boden- und Bodenluftproben im Rahmen der Untersuchung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen zur Beurteilung der Wirkungspfade Boden-Grundwasser und Boden-Mensch.

Es ergänzt, konkretisiert und vereinheitlicht die Vorgaben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) in den Paragraphen 19 bis 22 zur Probenahmeplanung und Probenahme für Böden, Bodenmaterialien, sonstigen Materialien und Bodenluft. Damit soll die Vergleichbarkeit, Reproduzierbarkeit und Belastbarkeit von Untersuchungsergebnissen verbessert werden.

Die Probenahme liefert das Material für die weiteren Schritte des Untersuchungsprozesses, wie Probenvorbereitung, analytische Bestimmung oder Messung und Auswertung. Daher ist sie entscheidend für die Qualität und Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse.

Die Vorgaben der Bodenschutzgesetzgebung zur Untersuchung und Bewertung von Altlastverdachtsflächen sind für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser im Merkblatt 3.8/1 und für den Wirkungspfad Boden-Mensch im Merkblatt 3.8/8 konkretisiert. Vorgaben und Hinweise zur Untersuchung von Bodenproben, Sickerwasser und Eluaten gibt das Merkblatt 3.8/5, zur Entnahme und Untersuchung von Grundwasser das Merkblatt 3.8/6.

Nach allgemeinen Ausführungen in den Kap. 1 und 2 werden in den Kap. 3 und 4 differenziert nach den Untersuchungsphasen Orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung Vorgaben und Hinweise zur wirkungspfadbezogenen Anordnung der Beprobungspunkte in der Fläche und zu den relevanten Beprobungstiefen gegeben. In den Kap. 5 und 6 werden die Vorgaben der BBodSchV zur Durchführung der Probenahme und zur Probengewinnung präzisiert sowie die erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen dargestellt.

### 1.2 Qualitätssicherung

Sachverständige und Untersuchungsstellen, die Aufgaben nach dem BBodSchG wahrnehmen, müssen gemäß § 18 BBodSchG bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Die entsprechende Zulassung nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbearbeitung in Bayern (VSU) erfolgt durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU). Nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen sind auf der Internetseite [www.resymesa.de](http://www.resymesa.de) bekannt gegeben.

Im Rahmen der Amtsermittlung sind von den Wasserwirtschaftsämtern ausschließlich nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen zu beauftragen.

Das LfU empfiehlt zur Gewährleistung einer hinreichenden Qualitätssicherung und damit eines effizienten und zügigen Verfahrens auch in den übrigen Verfahrensschritten (Detailuntersuchung, Sanierungsuntersuchung, Sanierungsplanung, Sanierung, Eigenkontrollmaßnahmen) nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen zu beauftragen. Die zuständige Bodenschutzbehörde kann dies nach § 9 Abs. 2 Satz 2, § 13 Abs. 2 und § 15 Abs. 2 Satz 5 BBodSchG von der bzw. dem Pflichtigen verlangen.

Gemäß § 14 VSU muss eine Untersuchungsstelle definierte personelle und gerätetechnische Voraussetzungen und die in Anlage 2 der VSU ausgeführten Anforderungen erfüllen. Das Fachmodul Boden und Altlasten definiert im Teil III Untersuchungsteilbereiche, für die eine Zulassung erteilt werden kann.

Zugelassene Untersuchungsstellen sind verpflichtet, im gesetzlich geregelten Bereich ausschließlich Verfahren routinemäßig anzuwenden, die in der individuellen Verfahrensliste aufgelistet sind.

Die für die Zulassung der Teilbereiche 1.1, 2.1 bzw. 3.1 (Probenahme und Vor-Ort-Untersuchungen) erforderliche gerätetechnische Mindestausstattung ergibt sich aus dem Anhang 3 im Fachmodul Boden und Altlasten. Die fachlichen Anforderungen an die Entnahme von Boden- und Bodenluftproben werden durch das vorliegende Merkblatt konkretisiert.

Die in Anhang 1 und Anhang 2 des vorliegenden Merkblattes angefügten Checklisten geben Hilfestellung bei der Prüfung, ob die Anforderungen an die Probenahme erfüllt werden.

Hinweise für die Vergabe von Leistungen durch die Wasserwirtschaftsämter (WWA) im Rahmen der Amtsermittlung bei der Orientierenden Untersuchung, also auch bezüglich der Probenahme, enthält das Merkblatt 3.8/2.

## 2 Grundlagen der Probenahmeplanung und -durchführung

### 2.1 Allgemeines

Die Probenahme aus Böden, Bodenmaterial, sonstigen Materialien und Bodenluft bei Altlasten und Altlastverdachtsflächen und deren Planung richtet sich nach der Untersuchungsphase, den im Einzelfall betroffenen Wirkungspfaden, der Flächengröße, dem Schadstoffspektrum sowie der vermuteten horizontalen und vertikalen Schadstoffverteilung.

Für den Wirkungspfad Boden-Mensch ist nach § 22 Abs. 1 BBodSchV in Verbindung mit § 4 Abs. 4 BBodSchG die tatsächliche und die planungsrechtlich zulässige Nutzung zu berücksichtigen. Die Vorgehensweise bei Untersuchungen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser ist unabhängig von der Bodennutzung. Die Nutzung des Grundwassers (z. B. nahe gelegene Trinkwasserbrunnen) kann im Einzelfall bei der Probenahmeplanung berücksichtigt werden.

### 2.2 Probenahmeplanung

Vor der Probenahme auf Altlasten und Altlastverdachtsflächen ist ein auf den Einzelfall angepasstes **Untersuchungskonzept mit Probenahmeplan** zu erarbeiten.

Grundlage hierfür sind die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen (z. B. Historische Erkundung, Orientierende Untersuchung, Detailuntersuchung). Daneben sind auch die Ergebnisse aus der Ortseinsicht, die geologischen/hydrogeologischen Gegebenheiten, sonstige Erkenntnisse (z. B. bereits vorliegende Untersuchungsergebnisse, geophysikalische Messungen, Vor-Ort-Analysen) und Aspekte des Gesundheitsschutzes sowie der Arbeitssicherheit (einschließlich eines Arbeitsschutz- und Sicherheitsplans) zu berücksichtigen. Das jeweils gewählte Vorgehen bei der Probenahme ist zu begründen und zu dokumentieren.

Der Probenahmeplan ist schriftlich auszuarbeiten und inhaltlich im Gutachten, ggf. mit Abweichungen, darzustellen. Weitere Hinweise zur Probenahmeplanung finden sich z. B. in LABO (2002), DIN ISO 18400-101, DIN ISO 18400-104 und DIN ISO 18400-203.

### 2.3 Spartenklärung

Bei der Probenahme ist sicherzustellen, dass es zu keiner Beschädigung von Sachgütern kommt. Hierzu sind unter anderem bei den zuständigen Stellen die aktuellen Leitungspläne einzusehen und relevante Informationen zu dokumentieren (z. B. Flächenfreigabemappe). Mindestens folgende Stellen sind anzufragen:

- Baubehörden
- Betreiberinnen bzw. Betreiber von Ver- und Entsorgungsleitungen
- Grundstückseigentümerinnen bzw. Grundstückseigentümer

Sind Leitungen in der Nähe von Bohrungen, Schürfen oder anderen Bodenaufschlüssen vorhanden, so ist mit besonderer Sorgfalt zu arbeiten. Der Verlauf der Trassen ist auf die Feldkarten zu übertragen. Zusätzlich ist vor Beginn der Erdarbeiten die Stelle z. B. mit einem geeigneten Leitungssuchgerät zu überprüfen. Erforderlichenfalls wird auch eine gemeinsame Ortseinsicht mit den zuständigen Stellen empfohlen.

Bei der Vergabe der Orientierenden Untersuchung sollte die Spartenklärung Bestandteil des behördlichen Auftrags an den § 18 Sachverständigen bzw. die § 18 Untersuchungsstelle sein. Die Zuständigkeiten für die erforderlichen Erkundigungen sollen grundsätzlich durch die Auftraggeberin bzw. den Auftraggeber festgelegt und in jedem Fall vertraglich festgeschrieben werden.

## 2.4 Kampfmittelerkundung

Im Zuge der Historischen Erkundung ist es erforderlich, dass die [Kreisverwaltungsbehörde \(KVB\)](#) klärt, ob Anhaltspunkte für eine Kampfmittelbelastung vorliegen. Aussagen zum Kampfmittelverdacht sind im Gutachten der Historischen Erkundung zu dokumentieren (siehe auch Merkblatt 3.8/7).

Bei der Orientierenden Untersuchung im Rahmen der Amtsermittlung ist vom [WWA](#) als verantwortlichem Auftraggeber im Zuge der Ausschreibung und Durchführung von Felduntersuchungen zu prüfen, ob der Frage des Kampfmittelverdachts bereits nachgegangen wurde und ob dieser ausgeräumt werden konnte. Andernfalls ist die KVB hinzuzuziehen. Wurde der Kampfmittelverdacht nicht vollständig ausgeschlossen oder bestätigt, ist dem im Rahmen der Orientierenden Untersuchung Rechnung zu tragen. Dies gilt auch für die nachfolgenden von der bzw. dem Verantwortlichen nach BBodSchG zu veranlassenden Untersuchungsschritte.

Der vom Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Sport und Integration (BayStMI) vorgehaltene Kampfmittelbeseitigungsdienst (KMBD) kann in begrenztem Umfang im Rahmen der Amtsermittlung durch die WWA auf Rüstungsalastverdachtsstandorten zur Freimessung von Untersuchungspunkten (unentgeltlich) zur Verfügung gestellt werden. Diese Leistung erfolgt freiwillig und ist abhängig von den verfügbaren Kapazitäten sowie vorrangigen Gefahrenlagen. Ansonsten sind ggf. für die Kampfmittelortung qualifizierte Unternehmen (siehe z. B. [Internetseite des BayStMI](#) Adressenliste Fachfirmen in der Kampfmittelbeseitigung) mit den erforderlichen Leistungen zu beauftragen.

Weitere Hinweise zu Kampfmitteln können der Arbeitshilfe „Orientierende und Detailuntersuchung von Rüstungsalastverdachtsstandorten in Bayern“ (IABG 2001) entnommen werden.

## 2.5 Arbeitsschutz

Die Auftragnehmerin bzw. der Auftragnehmer haben beim Verdacht auf Kontaminationen durch Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe eine Verantwortung, die sich unter anderem aus dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG), der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), der Technischen Regel für Gefahrstoffe 524 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ (BAUA 2010) und der DGUV 2006 „Kontaminierte Bereiche“ herleitet. Wesentlich sind hierbei Pflichten in Bezug auf den Sicherheits- und Gesundheitsschutz der Beschäftigten der Auftragnehmerin bzw. des Auftragnehmers und ihre bzw. seine Verpflichtung, eine Beurteilung der Arbeitsbedingungen („Gefährdungsbeurteilung“) vorzunehmen (siehe auch § 5 ArbSchG). Nach § 7 Abs. 1 GefStoffV dürfen die Arbeiten erst dann aufgenommen werden, wenn die Gefährdungsbeurteilung vorliegt.

Die Auftraggeberin bzw. der Auftraggeber haben die Auftragnehmerin bzw. den Auftragnehmer bei der Erfüllung ihrer bzw. seiner Pflichten zu unterstützen. Die Aufgaben beinhalten eine Erkundungs-, Planungs-, Informations- und Organisationsverantwortung, die sich aus dem Rechtsprinzip der Verkehrssicherungspflicht ableitet. Grundlagen hierfür sind das Bürgerliche Gesetzbuch (§ 823 BGB; allgemeine Verkehrssicherungspflicht), das Gefahrstoffrecht, die nachgeordneten Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), die Baustellenverordnung (BaustellV), die Biostoffverordnung (BioStoffV) sowie die DGUV 2006. Die Auftraggeberin bzw. der Auftraggeber haben demnach dafür Sorge zu tragen, dass die Auftragnehmerin bzw. der Auftragnehmer die erforderlichen Informationen erhalten, damit diese bzw. dieser die Gefährdungsbeurteilung erstellen und eventuell notwendige zusätzliche Arbeitsschutzmaßnahmen treffen kann. Sie bzw. er hat gemäß BAUA (2010) von einer eigenen fachkundigen Person einen Arbeits- und Sicherheitsplan (A+S-Plan) zu erstellen oder von einem fachkundigen Ingenieurbüro erstellen zu lassen. Auf das Vorliegen einer entsprechenden Qualifikation (Nr. 3.1 Abs. 6 BAUA (2010)) ist zu achten. Der A+S-Plan ist die Grundlage für die detaillierte Ausschreibung der bei den Arbeiten in kontaminierten Bereichen zu ergreifenden Schutzmaßnahmen (siehe hierzu auch VOB C, ATV DIN 18299).

Die Schutzpflichten der Auftragnehmerin bzw. des Auftragnehmers gegenüber seinen Beschäftigten bleiben trotz der Pflichten der Bauherrin bzw. des Bauherrn (Arbeits- und Sicherheitsplan, ggf. Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan, ggf. Koordinatorin bzw. Koordinator) uneingeschränkt bestehen.

Ausführliche Hinweise zu Sicherheit und Gesundheitsschutz sowie zur Ausschreibung und Vergabe dieser Leistungen im Rahmen der Amtsermittlung gibt Merkblatt 3.8/2.

## 2.6 Untersuchungsparameter

Die Untersuchungsparameter werden auf der Grundlage der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Bearbeitungsschritten ausgewählt. Dabei sind Informationen über branchen- oder anlagentypische Schadstoffe zu berücksichtigen. Veröffentlichte branchentypische Parameterkataloge (LfU-Arbeitshilfe zur Altlastenbearbeitung: Altlastenkataster "ABuDIS", Anhang 2, sowie branchenbezogene Altlastenmerkmale und Branchenkataloge; weitere Informationen siehe Merkblatt 3.8/7, Kap. 2.5) können bei der Untersuchungsplanung als Orientierungshilfe dienen, sollten aber nicht schematisch angewendet werden. Hinweise der fachkundigen Stelle Wasserwirtschaft an der KVB aufgrund von Erkenntnissen aus dem Vollzug der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) sind ebenfalls zu berücksichtigen. Im Einzelfall ist der Untersuchungsumfang um zusätzliche Parameter zu erweitern, wenn dies aufgrund der örtlichen Gegebenheiten bei der Probenahme (angetroffene Fremd Beimengungen, Ergebnisse der (Vor-Ort-)Analytik oder andere organoleptische Auffälligkeiten) angezeigt ist.

Wegen des häufig unbekanntes Schadstoffpotenzials und der Vielfalt der potenziell vorkommenden Schadstoffe können nach Absprache zwischen der Gutachterin bzw. dem Gutachter, der Probenehmerin bzw. dem Probenehmer und dem Labor analytische Screening-Methoden zielführend sein.

Weitere Hinweise zu relevanten Untersuchungsparametern finden sich in Merkblatt 3.8/1 und Merkblatt 3.8/8. Zur Probenvorbehandlung und zu Analyseverfahren einschließlich der Elutions- und Säulenverfahren sind Vorgaben und Hinweise im Merkblatt 3.8/5 enthalten.

## 2.7 Beprobungsmedien

Die Entscheidung, ob der Boden und/oder die Bodenluft beprobt wird, richtet sich unter anderem nach den Stoffeigenschaften, den Standortgegebenheiten (Bodenaufbau, Geologie) sowie den relevanten Wirkungspfaden.

### 2.7.1 Beprobungsmedium Boden

Je nach Vorgeschichte der Altlastverdachtsfläche kann es sich beim zu beprobenden Medium „Boden“ handeln um:

- natürlich anstehenden Boden
- Auffüllungen aus Bodenmaterial
- Auffüllungen aus Fremdstoffen (z. B. Bauschutt, Hausmüll)

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden der Begriff Bodenproben für die Untersuchung aller vorgenannten Materialien benutzt, auch wenn es sich dabei nicht immer ausschließlich um Boden im engeren Sinne handelt.

Die Art der Bodenproben und wie der Boden aufgeschlossen wird richten sich nach:

- den örtlichen Gegebenheiten
- den Eigenschaften und der Verteilung der Schadstoffe
- dem Untersuchungsziel und den damit verbundenen Anforderungen an das Probenmaterial (z. B. Menge)



Aufschlussarten und Probengewinnung werden im Kap. 5 beschrieben.

Für laboranalytische Untersuchungen im Rahmen von Altlastenuntersuchungen sind gestörte Bodenproben i. d. R. ausreichend. Gestörte Proben weisen eine durch die Probenahme verursachte gestörte Materialstruktur (Veränderung des Korngefüges und der -lagerung) auf. Kornverteilung, Wassergehalt, Schadstoffgehalt etc. einer Schicht oder eines Horizontes sollen in den entnommenen Bodenproben jedoch repräsentativ sein, d. h. richtig, reproduzierbar und zuverlässig widergespiegelt werden.

Bodenproben für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser werden i. d. R. horizontweise und schichtbezogen aus tief reichenden, punktuellen Bodenaufschlüssen (Bohrungen, Schürfe) entnommen. In begründeten Fällen dürfen Proben aus engräumigen Bodenhorizonten oder -schichten bis zu einem Meter zusammengefasst werden. Dabei sind die Eigenschaften der Stoffe, auf die untersucht werden soll, und der Aufbau des Untergrundes zu berücksichtigen. Die Beprobungstiefe ist dementsprechend immer einzelfallabhängig festzulegen.

Für den Wirkungspfad Boden-Mensch sind hingegen die Beprobungstiefen nutzungsabhängig vorgeschrieben. Hier werden Mischproben flächenbezogen in definierten Tiefen entnommen (vgl. Tab. 3 in Anlage 3 der BBodSchV). Abweichende Beprobungstiefen sind zu begründen und zu dokumentieren. Nähere Hinweise zur tiefenbezogenen Probenahme enthält Kap. 3.1.2. Sofern in den für den Wirkungspfad Boden-Mensch vorgesehenen Beprobungstiefen unterscheidbare Schichten oder Horizonte insbesondere mit vermuteten Schadstoffanreicherungen (z. B. Schlacke- oder Ascheschicht) auftreten, sind diese separat zu untersuchen und zu bewerten, wenn dies für das Untersuchungsziel erforderlich ist.

### 2.7.2 Beprobungsmedium Bodenluft

Als Bodenluft werden alle im Untergrund in gasförmigem Zustand befindlichen Stoffe, auch die in künstlichen Hohlräumen enthaltenen Gase, bezeichnet. Bodenluftproben sind zu entnehmen, wenn sich aus der Historischen Erkundung oder Orientierenden Untersuchung Hinweise auf flüchtige organische Schadstoffe (vor allem LHKW einschließlich Vinylchlorid, BTEX und aliphatische Kohlenwasserstoffe) ergeben und die Standortverhältnisse eine Probenahme erlauben.

Je nach Fragestellung, Untergrundaufbau und Untersuchungsparametern sind verschiedene Varianten der Bodenluftprobenahme (aktiv über Direkt- bzw. Anreicherungsverfahren oder passiv) möglich (siehe Kap. 6). Ist eine Bodenluftprobenahme aufgrund der Bodenverhältnisse nicht möglich, z. B. bei bindigen Böden, sind für Laboruntersuchungen auf leichtflüchtige organische Schadstoffe alternativ Bodenproben (Einzelproben) entsprechend den Vorgaben aus Kap. 5 zu entnehmen.

Eine spezielle Form der Bodenluft ist das Deponiegas mit seinen Hauptkomponenten Methan und Kohlenstoffdioxid. Es entsteht durch mikrobiellen Abbau organischen Materials in Deponien oder Altablagerungen. Deponiegas wird insbesondere bei Verdacht auf organische Ablagerungen (z. B. Hausmüll) untersucht. Die Untersuchung dient neben der Gefährdungsabschätzung auch der Bestimmung der Phase der Deponiegasentwicklung (Abbaustufen des organischen Materials). Der zeitliche Verlauf der Deponiegasentwicklung ist in VDI 3860-1 beschrieben.

Wenn auf Grund der örtlichen Umstände oder nach den Ergebnissen von Bodenluft- oder Deponiegasuntersuchungen Anhaltspunkte für die Ausbreitung von flüchtigen Schadstoffen aus einer Altlastverdachtsfläche in Gebäude bestehen, soll im Rahmen der Detailuntersuchung eine Untersuchung der Innenraumluft erfolgen (§ 10 Abs. 6 BBodSchV).

## 2.8 Bohranzeige

Grundsätzlich ist bei allen Bohrungen und Sondierungen zur Untersuchung des Untergrundes vorab zu prüfen, ob eine Anzeigepflicht gemäß Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Geologiedatengesetz (GeolDG) besteht. Dabei gelten für [Untersuchungsbohrungen](#) und [-aufschlüsse im Rahmen der Altlastenbearbeitung](#) folgende Festlegungen:

### **Anzeige gemäß Wasserhaushaltsgesetz**

Die Vorhabensträgerin bzw. der Vorhabensträger oder das beauftragte Bohrunternehmen zeigen der zuständigen KVB einen Monat vor Arbeitsbeginn alle Erdaufschlüsse (auch ohne Grundwasseraufschluss) an, die so tief in den Boden eindringen, dass sie sich unmittelbar oder mittelbar auf die Bewegung, die Höhe oder die Beschaffenheit des Grundwassers auswirken können (§ 49 Abs. 1 WHG). Nach der Prüfung der Anzeige durch die KVB in Abstimmung mit dem WWA kann mit den Arbeiten begonnen werden, spätestens nach Ablauf der Frist von einem Monat, soweit keine Rückmeldung erfolgt ist. Ist absehbar, dass mit den Bohrungen der oberste Grundwasserleiter erreicht wird oder dass die Bohrung zu einer Grundwassermessstelle ausgebaut wird, so ist dies in der Bohranzeige mitzuteilen. Wird bei den Bohrarbeiten ohne vorherige Mitteilung das Grundwasser erschlossen, so sind die Arbeiten zu unterbrechen. Die zuständige KVB ist unverzüglich zu unterrichten (§ 49 Abs. 2 WHG).

Bei Arbeiten im Rahmen der Orientierenden Untersuchung **entfällt die Anzeigepflicht**, wenn der Auftraggeber das WWA ist (Art. 30 Abs. 4 BayWG). Eine Bohranzeige ist ebenfalls nicht erforderlich, wenn Bohrungen, die nicht in den obersten Grundwasserleiter eingreifen, von einem Sachverständigen nach § 18 BBodSchG (Sachgebiet 2 „Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Gewässer“) begleitet werden.

Der Bau von **Grundwassermessstellen** in den ersten Grundwasserleiter ist gemäß § 49 Abs. 1 Satz 2 WHG i. d. R. erlaubnisfrei (aber anzeigepflichtig), wenn keine Spülzusätze eingesetzt werden und die Ausbaumaterialien (Rohre, Ringraumverfüllung) nachweislich durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) zugelassen sind.

### **Anzeige gemäß Geologiedatengesetz**

Grundsätzlich müssen sämtliche geologischen Untersuchungen (dazu gehören beispielsweise Bohrungen) dem LfU gemäß § 8 GeoIDG spätestens 14 Tage vor Beginn der Untersuchung angezeigt werden ([Digitale Anzeige geologischer Untersuchungen nach GeoIDG](#)). Im Bereich der Altlastenuntersuchung und -überwachung sind gemäß § 2 Abs. 3 GeoIDG an die geologische Untersuchung anschließende Messungen und Aufnahmen von der Übermittlungspflicht ausgesetzt.

Im Rahmen von Altlastenuntersuchungen ist keine Bohranzeige nach GeoIDG für Handbohrungen, Schürfe, kleinkalibrige Sondierungen mit Bohrhämmern wie Rammkernsondierungen oder Ramm- und Drucksondierungen erforderlich.

## **2.9 Verfüllung von Schürfen und Bohrlöchern**

Bei der Probenahme entstehende Hohlräume, wie Sondierlöcher, Bohrlöcher und Schurfgruben, sind zur Unterbindung neuer Wegsamkeiten und aus Sicherheitsgründen möglichst umgehend, spätestens zum Ende der Untersuchungsarbeiten, wieder fachgerecht zu verfüllen bzw. verschließen.

I. d. R. dürfte durch den Wiedereinbau des bei der Probenahme anfallenden Materials am selben Ort keine Beeinträchtigung der Allgemeinheit zu erwarten sein. Daher kann das Aushubmaterial i. d. R. zur Verfüllung von **Schürfen** verwendet werden. Das Aushubmaterial muss schichtengerecht („Gleiches zu Gleichem“) und setzungsfrei rückverfüllt werden. Weitere Informationen enthält Abschnitt 7.8 DIN ISO 18400-102. Falls bei der Probenahme keine ausreichenden Mengen an unbelastetem Material zur Verfüllung des Schurfes oder zur Abdeckung der Oberfläche anfallen, ist zusätzliches Material einzusetzen.

Zur Verfüllung von **Bohr- oder Sondierlöchern** ist das entnommene Bohrgut i. d. R. ungeeignet, da nicht sicher ausgeschlossen werden kann, dass dabei neue Wegsamkeiten entstehen. Auch ist es meist nicht möglich, das Bohrgut schichtengleich einzubauen. Das gilt besonders bei kleineren Bohrlochdurchmessern und bei bindigem Bodenmaterial.

Daher sind Bohr- und Sondierlöcher im **Regelfall** je nach Erforderlichkeit

- mit Bentonit zu verschließen (auf schrittweises Vorgehen und auf ausreichende Wasserzugabe ist zu achten) oder
- zu verpressen (z. B. mit Zement-Bentonit-Suspensionen im Kontraktorverfahren).

Bohrlöcher zu verpressen ist besonders dann ratsam, wenn aufgrund der örtlichen Gegebenheiten andernfalls eine Kontamination des Untergrundes bzw. eine Ausbreitung einer vorhandenen Kontamination zu erwarten oder zu befürchten ist.

Hinweise:

- Bei der Verpressung in klüftigen Festgesteinen oder grobstückigen Ablagerungen kann es zu größeren unkontrollierten Suspensionsverlusten kommen. Deshalb soll in solchen Fällen vorab kritisch die Eignung dieses Verfahrens geprüft werden.
- Bei der Verwendung von Bentonit können lipophile Phasen (z. B. Teeröle) unter Umständen das Quellen der Tonminerale verhindern. Sind solche Phasen vorhanden, ist ein anderes Verfahren zu wählen.

Nur im **dokumentierten Ausnahmefall** darf das Bohrloch mit dem entnommenen Bohrgut verfüllt werden, wenn das Material nicht oder nur gering kontaminiert ist, zudem nicht bindig und rieselfähig ist und das Größtkorn maximal 20 % des Bohrdurchmessers beträgt. Ein schichtengerechter Einbau ist zu gewährleisten und durch Tiefenlotung zu dokumentieren. Weitere Ausnahmen können sich bei oberflächennahen Sondierungen auf Deponiekörpern oder in Bereichen mit größerem Grundwasserflurabstand und gleichzeitig geringer zu erwartender Kontamination ergeben, wenn neue Wegsamkeiten durch die Vor-Ort-Gegebenheiten sicher ausgeschlossen werden können.

Die Bohrlochverfüllung ist stets zu dokumentieren und bei Abweichungen zum Untersuchungskonzept oder bei Anwendung der Ausnahmeregelung (Verfüllung mit Bohrgut) zusätzlich zu begründen und mit der zuständigen Behörde abzustimmen.

## 2.10 Entsorgung von nicht benötigtem Probengut/Boden

Bei der Probenahme anfallendes, überschüssiges Bohr- und Probengut oder Aushubmaterial und Material, das offensichtlich nicht mehr eingebaut werden darf (z. B. nicht restentleerte Gebinde), ist als Abfall gemäß § 3 Abs. 4 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ordnungsgemäß zu entsorgen. Ein Verbleib am Probenahmeort ist nur in Absprache mit der Auftraggeberin bzw. dem Auftraggeber und nur dann zulässig, wenn z. B. durch Analysen nachgewiesen wurde, dass das Wohl der Allgemeinheit dadurch nicht beeinträchtigt wird (siehe § 7 Abs. 3 KrWG). Überschüssiges Probenmaterial von Haufwerksbeprobungen kann jedoch dem jeweiligen Sektor, aus dem es entnommen wurde, wieder zugegeben werden.

Für die Planung einer effektiven und kostengünstigen Entsorgung sind bereits vor Beginn der Maßnahme mit der zuständigen Abfallbehörde (i. d. R. die KVB als untere Abfall- und Rechtsbehörde) mögliche Entsorgungswege abzuklären. Die Entsorgung von kontaminiertem Erdreich oder anderem nicht verfüllbarem Material ist bereits in der Angebotsanfrage zum Untersuchungsauftrag zu berücksichtigen (siehe Merkblatt 3.8/2).

### 3 Probenahmeplanung für die Orientierende Untersuchung

Die Untersuchung von Altlastverdachtsflächen erfolgt stufenweise. Der Historischen Erkundung (siehe Merkblatt 3.8/7) kommt insbesondere bei der Untersuchung von Altstandorten eine wichtige Bedeutung für die Probenahmeplanung in den weiteren Untersuchungsschritten zu. Sie ist Grundlage für die Orientierende Untersuchung. Hinweise zum Umfang einer Orientierenden Untersuchung und einer Detailuntersuchung geben Merkblatt 3.8/1 und Merkblatt 3.8/8.

Die Orientierende Untersuchung gilt als beendet, sobald der hinreichende Verdacht für das Vorliegen einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung besteht oder ausgeräumt wurde. Erstreckt sich eine Verdachtsfläche über mehrere Grundstücke (Flurstücke) mit verschiedenen Eigentümerinnen bzw. Eigentümern und besteht die Möglichkeit, dass die Grundstückseigentümerinnen bzw. Grundstückseigentümer als Pflichtige nach BBodSchG bestimmt werden, sollte die Überprüfung des Altlastverdachtes im Hinblick auf den Erlass von Anordnungen flurstücksscharf erfolgen.

Die Orientierende Untersuchung ist für **alle auf der Verdachtsfläche relevanten Wirkungspfade** durchzuführen. Für die zu untersuchende Verdachtsfläche ist daher ein spezifischer Probenahmeplan aufzustellen, der alle relevanten Wirkungspfade (Boden-Mensch, Boden-Nutzpflanze, Boden-Grundwasser) berücksichtigt. Bei der Probenahmeplanung beteiligt die KVB entsprechend Nrn. 5.2.1.3 und 5.2.1.4 BayBodSchVwV die zuständigen fachlichen Stellen (WWA beim Wirkungspfad Boden-Grundwasser, Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze, Gesundheitsverwaltung für den Wirkungspfad Boden-Mensch).

Bei der Planung der Probenahme sind zunächst die in Kap. 2 beschriebenen allgemeinen Grundsätze zu beachten. Die Beprobungspunkte sollten stets im Rahmen einer Ortseinsicht endgültig festgelegt werden. Dabei sind die örtlichen Gegebenheiten (Sparten, Versiegelungen, Bebauung, Zugänglichkeit etc.) zu berücksichtigen. Die Auftraggeberin bzw. der Auftraggeber, die Auftragnehmerin bzw. der Auftragnehmer und die betroffene Grundstückseigentümerin bzw. der betroffene Grundstückseigentümer oder Pächterin bzw. Pächter/Firmenbetreiberin bzw. Firmenbetreiber sind zu beteiligen. Die erforderlichen Untersuchungen für alle relevanten Wirkungspfade werden im Rahmen der Amtsermittlung in Amtshilfe durch das WWA ausgeschrieben und vergeben (vgl. Nr. 5.2.1.4 BayBodSchVwV).

#### 3.1 Bodenuntersuchungen bei vermuteten Kontaminationsschwerpunkten

Potenzielle Kontaminationsschwerpunkte aus punktuellen Eintragsquellen (Leckagen an Tanks oder Tropfverluste im Bereich von Füllstationen, Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Umschlagen, Herstellen, Behandeln und Verwenden wassergefährdender Stoffe etc.) oder linienhafte Verunreinigungen (Leckagen an Pipelines, an Ver- und Entsorgungsleitungen oder an Gleisen etc.) sind gezielt zu beproben. Dies gilt auch für auffällige Bodenbereiche, die z. B. Bodenverfärbungen, Vegetationsschäden oder Änderungen der Bewuchsdichte aufweisen.

##### 3.1.1 Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Die Beprobungspunkte sind in die (vermuteten) Kontaminationsschwerpunkte zu setzen. Die Anzahl der Beprobungspunkte ist in Abhängigkeit von der Fläche des (vermuteten) Kontaminationsschwerpunktes im Einzelfall festzulegen. Die Tab. 1 nach LABO (2002) gibt Anhaltspunkte hierzu. Die Anzahl der angegebenen Beprobungspunkte ist eine Mindestanzahl. Der Abstand und die Lage der Beprobungspunkte richten sich nach der zu erwartenden Schadstoffverteilung unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten.

Flächengröße des (vermuteten) Kontaminationsschwerpunktes [m <sup>2</sup> ]	Anzahl der Beprobungspunkte
< 100	2 - 3
100 - 500	2 - 4
500 - 1.000	4 - 6
1.000 - 2.000	6 - 8

Tab. 1: Orientierungshilfe für die Mindestanzahl der Beprobungspunkte im Bereich von vermuteten Kontaminationsschwerpunkten (nutzungsunabhängig) nach LABO (2002).

Die **Beprobungstiefe** ist jeweils im Einzelfall festzulegen. Es wird empfohlen, den Untergrund unter besonderer Berücksichtigung der Grundwasserschwankungszone bis mindestens einen Meter unterhalb von organoleptisch erkennbaren Verunreinigungen zu untersuchen.

Das Durchbohren von wasserstauenden Schichten im Liegenden der Untersuchungsfläche ist zu vermeiden. Ggf. ist die vorgesehene Beprobungstiefe zu verringern. Falls das Durchbohren jedoch unumgänglich ist, sind besondere Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen.

An jedem Beprobungspunkt sind über das gesamte Profil repräsentative, horizont- bzw. schichtbezogene Bodenproben zu entnehmen. Bei Horizonten/Schichten von mehr als einem Meter Mächtigkeit ist **mindestens eine Probe je Meter** zu gewinnen (vgl. § 22 Abs. 5 BBodSchV).

In begründeten Fällen ist die Zusammenfassung engräumiger Bodenhorizonte oder -schichten bis zu einem Meter Tiefenintervall zulässig. Für die Beprobung organoleptischer Auffälligkeiten und für die Untersuchung auf flüchtige organische Schadstoffe in bindigen Böden sind zusätzliche Proben vorzusehen, die gesondert zu untersuchen sind. Die Anzahl der zu entnehmenden Bodenproben ist abhängig vom Untergrundaufbau, der Art der Kontamination und der Beprobungstiefe.

Die Bodenansprache erfolgt nach der Kurz-KA 5 (Eckelmann et al. 2009): Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz – Auszug aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5). Bei räumlich eng zusammenliegenden Bodenaufschlüssen mit wiederkehrender Profilauffolge kann die ausführliche Bodenansprache nach Kurz-KA 5 (2009) an einem Leitprofil erfolgen und die Erkenntnisse auf die anderen Profile übertragen werden. Stehen die Untersuchungen in unmittelbarem Zusammenhang mit Baugrunderkundungen, kann die Bodenansprache nach den Normen für geotechnische Erkundungen (DIN EN ISO 22475-1; DIN EN ISO 14688-1; DIN EN ISO 14689) in Verbindung mit der Kurz-KA 5 (2009) (siehe Kap. 5) erfolgen. Dabei sind mindestens die obligatorischen Parameter der Kurz-KA 5 (2009) zu dokumentieren.

Die Auswahl der entnommenen Bodenproben für die Analytik hängt von der Untersuchungsphase und deren Zielsetzung ab. In der Orientierenden Untersuchung sollten ausgewählte Bodenproben, beispielsweise aus vermuteten Kontaminationsschwerpunkten oder organoleptisch auffälligen Bereichen, untersucht werden. Die restlichen Proben werden als Rückstellproben sachgemäß gelagert. Diese können ggf. später abhängig von bereits gewonnenen Ergebnissen ergänzend untersucht werden.

An einzelnen Beprobungspunkten sollten alle Schichten untersucht werden, um einen ersten Eindruck vom Schadstoffverhalten und von der vertikalen Schadstoffverteilung zu gewinnen. So wird vermieden, dass im Vorfeld nicht bekannte, belastete Bereiche übersehen werden.

### 3.1.2 Wirkungspfad Boden-Mensch

Zur Gewinnung einer Feststoffprobe für den Wirkungspfad Boden-Mensch werden gleichmäßig über die Fläche verteilt mittels Bohrstock 20 Einstiche gesetzt. Aus den Einzelproben wird eine **flächenbezogene**

Mischprobe gebildet. Die Anzahl der Einzelproben je Teilfläche ist im Untersuchungsbericht anzugeben. Um Verdünnungseffekte zu vermeiden, dürfen die Einstiche nur innerhalb der jeweiligen kontaminationsverdächtigen Fläche oder des auffälligen Bodenbereichs gesetzt werden.

Unter bestimmten Umständen ist die Bildung von „Beprobungs-Teilflächen“ erforderlich:

- Bei unterschiedlichen Nutzungen innerhalb eines zu beprobenden Kontaminationsschwerpunktes oder auffälligen Bodenbereiches sind Teilflächen mit verschiedenen Nutzungen (z. B. Park-/Freizeitanlage, Kinderspielfläche) getrennt zu beproben.
- Bei Kontaminationsflächen mit weniger als 500 Quadratmetern sowie in Hausgärten oder bei einer entsprechenden gärtnerischen Nutzung kann auf eine Bildung von Teilflächen verzichtet werden.
- Für Flächen mit mehr als 1 Hektar sollen mindestens zehn Teilflächen beprobt werden.

Abstand und Lage der Beprobungsteilflächen werden durch die zu erwartende Schadstoffverteilung unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten bestimmt.

Die Beprobungstiefe für den Wirkungspfad Boden-Mensch richtet sich nach der Nutzung. Tab. 2 enthält die Nutzungsarten und die zugehörigen beurteilungsrelevanten Beprobungstiefen gemäß Anlage 3 Tab. 3 BBodSchV. Die Nutzungsart gilt für die tatsächliche Nutzung auf der Fläche. Ggf. ist auch die planungsrechtlich zulässige Nutzung zu berücksichtigen.

Nutzungsarten	Beprobungstiefen
Kinderspielflächen und Wohngebiete	Tiefenbereich 1: 0 - 10 cm <sup>1)</sup> Tiefenbereich 2: 10 - 30 cm <sup>2)</sup>
Park- und Freizeitanlagen	0 - 10 cm <sup>1)</sup>
Industrie- und Gewerbegrundstücke	0 - 10 cm <sup>1)</sup>
Nutzgarten	Tiefenbereich 1: 0 - 30 cm <sup>3)</sup> Tiefenbereich 2: 30 - 60 cm

Tab. 2: Nutzungsorientierte Beprobungstiefen bei Untersuchungen zu den Wirkungspfaden Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze.

<sup>1)</sup> Kontaktbereich für orale und dermale Schadstoffaufnahme, zusätzlich 0 – 2 cm bei Relevanz des inhalativen Aufnahmepfades

<sup>2)</sup> 30 cm durchschnittliche Mächtigkeit aufgebracht Bodenschichten, zugleich von Kindern erreichbare Tiefe

<sup>3)</sup> Bei abweichender Mächtigkeit des Bearbeitungshorizonts bis zur Untergrenze des Bearbeitungshorizonts

In begründeten und dokumentierten Einzelfällen können abweichende Beprobungstiefen erforderlich sein.

Sofern neben dem Wirkungspfad Boden-Mensch auch der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze relevant ist (z. B. Kleingartenanlage, die sowohl von Kindern zum Spielen wie auch gärtnerisch genutzt wird), sind auch die dafür relevanten Bodentiefen nach Tab. 2 zu beproben.

Auch bei der Beprobung für den Wirkungspfad Boden-Mensch sind die Böden horizontweise zu beproben, wenn dies für die jeweilige Fragestellung erforderlich ist (Abs. 1 und 2 § 20 BBodSchV). Über das gesamte Profil gestörte Böden sind lagenweise zu beproben (siehe Kap. 2.7.1).

Schadstoffe können besonders von vegetationsfreien Flächen mit der Luft verfrachtet und inhalativ aufgenommen werden. Bei Schadstoffen, bei denen die inhalative Aufnahme für die Ableitung der Prüfwerte

bestimmend ist (z. B. Chrom<sup>VI</sup>, Beryllium oder Nickel), ist zusätzlich der Tiefenbereich bis zwei Zentimeter zu beproben. Dabei ist sicherzustellen, dass der Schadstoffgehalt in der für die Staubbildung relevanten Feinkornfraktion bis 63 µm ggf. getrennt analysiert werden kann (siehe § 22 Abs. 2 BBodSchV).

### 3.2 Bodenuntersuchungen bei flächenhafter oder unbekannter Schadstoffverteilung

Bei diffuser, flächenhafter oder unbekannter Schadstoffverteilung sind Rasteruntersuchungen durchzuführen.

Die **Rastergröße** orientiert sich dabei an

- der vermuteten Schadstoffverteilung
- den örtlichen Gegebenheiten (z. B. Bewuchs oder Bebauung)
- der Flächengröße

Zweckmäßigerweise werden zunächst etwas größere Rasterabstände gewählt, sodass aus den daraus gewonnenen Ergebnissen und Erkenntnissen über die Schadstoffverteilung entschieden werden kann, ob und ggf. in welchen Bereichen das Raster weiter zu verdichten ist.

Bei der Durchführung von Rasterbeprobungen sollen regelmäßige Gitter verwendet werden, da diese vor Ort leicht einzumessen sind. Außerdem ist die spätere, im Rahmen der Detailuntersuchung notwendige Verdichtung des Rasters, sowie die Rückübertragung der Messwerte auf das Gitter und die Interpolation der Werte einfacher durchzuführen. Detaillierte Information zu Probenahmerastern finden sich in der DIN ISO 18400-104.

#### 3.2.1 Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Die Anzahl der Beprobungspunkte und deren Abstände sind in Abhängigkeit von der geschätzten Ausdehnung der Kontamination festzulegen. Die Beprobungspunkte sollen gleichmäßig über die Verdachtsfläche verteilt sein. Ein Abstand zwischen den Rasterpunkten von 100 Metern soll nicht überschritten werden.

Die Beprobungstiefe, die Art und Anzahl der Bodenaufschlüsse und Proben ist analog den Ausführungen in Kap. 5 jeweils auf den Einzelfall abzustimmen.

Bei **Altablagerungen** erlaubt eine stichprobenhafte Untersuchung aufgrund der Heterogenität des Materials nur bedingt Aussagen über das vorhandene Schadstoffinventar. Ist anhand der Eluatuntersuchungen keine hinreichend belastbare Bewertung möglich, können insbesondere zur Ausräumung eines Anfangsverdacht in der Phase der Orientierenden Untersuchung im Ausnahmefall (z. B. nasser Fuß) auch Grundwasseruntersuchungen zur integrativen Erfassung von Verunreinigungen sinnvoll eingesetzt werden.

#### 3.2.2 Wirkungspfad Boden-Mensch

Auch hier gilt, dass Anzahl und Abstände der Beprobungspunkte in Abhängigkeit von der geschätzten Ausdehnung der Belastung festzulegen sind (siehe Kap. 3.1.2). Auf Flächen mit sensibler Nutzung (Wohngebiet, Kinderspielplatz) dürfen Rastergrößen von 50 Meter mal 50 Meter nicht überschritten werden. Die Rastergrößen bei Park-/Freizeitanlagen und Industrie-/Gewerbegrundstücken können bis 100 Meter mal 100 Meter betragen (LABO 2002).

Werden trotz konkreter Anhaltspunkte keine Kontaminationen ermittelt, empfiehlt sich eine Verdichtung des Probenahmerasters.

Am jeweiligen Rasterpunkt wird aus **20 Einzeleinstichen** eine flächenbezogene Mischprobe gebildet. Die Anzahl der Einstiche je Teilfläche ist im Untersuchungsbericht anzugeben.

Bei Flächen unter 500 Quadratmetern sowie in Hausgärten oder sonstigen Gärten mit entsprechender Nutzung kann auf eine Teilung verzichtet werden. Für Flächen über 10.000 Quadratmetern sollen mindestens zehn Teilflächen beprobt werden (§ 22 Abs. 3 BBodSchV).

### 3.3 Bodenluftuntersuchungen

Bei der Orientierenden Untersuchung erfolgen Bodenluft- und Deponiegasuntersuchungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Grundwasser i. d. R. über temporäre Bodenluftmessstellen. Die Anordnung der Beprobungspunkte zur Erfassung von Bodenluftverunreinigungen durch leichtflüchtige organische Schadstoffe orientiert sich an der vermuteten Schadstoffverteilung. Das Entnahmeverfahren ist auf die zu untersuchenden Parameter (z. B. leichtflüchtige organische Schadstoffe und/oder Deponiegashauptkomponenten) abzustimmen (siehe Kap. 6).

Werden bei Kontaminationen mit unbekannter Schadstoffverteilung Rasteruntersuchungen durchgeführt, dann sollen gemäß VDI 3865-1 bei Bodenluftuntersuchungen die Beprobungsabstände 50 Meter nicht überschreiten; als Richtwert wird ein Rasterabstand von 20 Meter genannt.

Die **Entnahmetiefe** richtet sich nach dem Untergrundaufbau und dem vermuteten Schadstoffeintrag (oberflächlich oder unterirdisch z. B. aus Leitungen). Bodenluftproben sind ab einer Mindestdiefe von einem Meter unter Geländeoberkante bzw. einem Meter unter Unterkante einer Oberflächenabdeckung zu entnehmen. Auf einen ausreichenden Abstand zwischen Entnahmebereich und Grundwasseroberfläche ist zu achten. Bei ähnlichem Schichtaufbau sollten Bodenluftproben an den einzelnen Beprobungspunkten immer aus derselben Tiefe entnommen werden.

An der Oberfläche von Altablagerungen kann punktuell, z. B. an Setzungs- oder Schrumpfungsrissen, Deponiegas in die Atmosphäre austreten. Vor Ort lassen sich **Deponiegasaustritte** auf Grün- oder Brachland häufig durch Vegetationsschäden erkennen. Zur Verifizierung dieser Gasaustritte und zum Erkennen weiterer Ausgasungen sind Begehungen mit einem FID (Flammenionisationsdetektor) sinnvoll. Dieses Verfahren wird in der VDI 3860-3 beschrieben und durch die LfU Deponie-Info 5 (2020) konkretisiert.

### 3.4 Wirkungspfad-übergreifender Probenahmeplan

Der Probenahmeplan hat alle auf der Verdachtsfläche relevanten Wirkungspfade einzeln zu berücksichtigen. Beprobungspunkte oder Beprobungsteilflächen für die verschiedenen Wirkungspfade können im Probenahmeplan jedoch ggf. kombiniert werden. Beprobungspunkte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser (i. d. R. tief reichende Bodenaufschlüsse) können dabei zusätzlich auch für die Gewinnung von Einzelproben für den Wirkungspfad Boden-Mensch herangezogen werden. Hierzu wird eine den anderen Einzelproben entsprechende Menge aus den entsprechenden Bodentiefen der Rammkernsondierung bzw. des Schurfes entnommen. Jede so gewonnene Probe ersetzt eine der 20 Einzelproben, die zu einer Mischprobe vereinigt werden.

Bei Rasteruntersuchungen können sich die Mittelpunkte der Beprobungsteilflächen für den Pfad Boden-Mensch – soweit das sinnvoll ist – mit den Beprobungspunkten für den Pfad Boden-Grundwasser (und ggf. den Punkten für die Entnahmen von Bodenluftproben) decken.



## 4 Probenahmeplanung für die Detailuntersuchung

Ziele der Detailuntersuchung sind

- die abschließende Gefährdungsabschätzung für alle relevanten Wirkungspfade, für die sich im Rahmen der Orientierenden Untersuchung der hinreichende Verdacht bestätigt hat
- die Feststellung, ob der Gefahrenverdacht ausgeräumt werden kann oder ob Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind

Die hierzu notwendigen Untersuchungen kann die KVB gegenüber der oder dem Verpflichteten nach § 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG anordnen. Hinweise zum Umfang einer Detailuntersuchung geben auch Merkblatt 3.8/1 und Merkblatt 3.8/8.

Die Detailuntersuchung dient nach § 13 Abs. 1 BBodSchV vor allem der Ermittlung der

- räumlichen Ausdehnung der Kontaminationsbereiche
- Verfügbarkeit der Schadstoffe
- Exposition der Schutzgüter

Hierzu ist eine zunehmende **Verdichtung des Probenahmerasters** gegenüber der Orientierenden Untersuchung für den Boden (und ggf. die Bodenluft) sowie eine höhere vertikale Auflösung der Beprobung mit dem Ziel der Bestimmung der Schadstoffverteilung und des Schadstoffspektrums erforderlich. Für die Gefahrenermittlung ist ggf. grundstücks- bzw. flurstücksbezogen vorzugehen.

Die Probenahmeplanung im Rahmen der Detailuntersuchung basiert auf den Gutachten und den Ergebnissen der vorausgehenden Untersuchungsphasen. Probenahmeplanung und Untersuchungsumfang sind jeweils auf den Einzelfall abzustimmen. Ein schrittweises Vorgehen kann auch bei der Detailuntersuchung zweckmäßig sein. Die endgültige Festlegung der Beprobungspunkte sollte im Rahmen einer Ortseinsicht unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und unter Beteiligung der Auftraggeberin bzw. des Auftraggebers, der Auftragnehmerin bzw. des Auftragnehmers und der betroffenen Grundstückseigentümerin bzw. des betroffenen Grundstückseigentümers oder Pächterin bzw. Pächters/Firmenbetreiberin bzw. Firmenbetreibers erfolgen.

Die folgenden Hinweise zur Probenahmeplanung sind unter Berücksichtigung des jeweiligen Einzelfalls anzuwenden.

### 4.1 Bodenuntersuchungen

#### 4.1.1 Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Ergibt die Orientierende Untersuchung einen hinreichenden Gefahrenverdacht für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser, so sind im Rahmen der Detailuntersuchung i. d. R. das Grundwasser bzw. die hydrogeologischen Standortbedingungen weiterführend zu untersuchen. Weitere Ausführungen sind in Merkblatt 3.8/1 und Merkblatt 3.8/6 enthalten.

Bodenverunreinigungen sind in der Detailuntersuchung sowohl horizontal als auch vertikal abzugrenzen. Auf Basis der festgestellten Stoffkonzentrationen ist das Schadstoffinventar nach Zusammensetzung, Menge und räumlicher Verteilung sowohl in der ungesättigten als auch in der gesättigten Bodenzone zu ermitteln und zu beschreiben. Hierzu sind i. d. R. Bodenaufschlüsse zur Gewinnung von Bodenproben und die Herstellung von Eluaten (siehe Merkblatt 3.8/5) erforderlich. Außerdem ist eine Sickerwasserprognose zur Abschätzung des ausgehenden oder zu erwartenden Schadstoffeintrags in das Grundwasser durchzuführen.

Zur Abgrenzung von Kontaminationen aus **punktuellen Eintragsquellen** sind die Beprobungspunkte rasterartig um diese Eintragsquellen anzuordnen.

Im Falle **linienhafter Kontaminationen** sind die Beprobungspunkte der Orientierenden Untersuchung mit beidseitig entlang der Schadensquelle auf parallelen Linien angeordneten weiteren Beprobungspunkten zu verdichten oder zu erweitern (siehe auch DIN ISO 18400-104).

Im Falle **flächenhafter oder unbekannter Schadstoffverteilung ohne Kontaminationsschwerpunkte** empfiehlt sich eine Verdichtung des in der Orientierenden Untersuchung festgelegten Probenahmerasters.

Beprobungstiefe, Art und Anzahl der Bodenaufschlüsse sowie der zu entnehmenden Bodenproben orientieren sich an der Zielsetzung sowie den örtlichen Gegebenheiten und sind an den jeweiligen Einzelfall anzupassen. Bei der Detailuntersuchung ist zur Erfassung der vertikalen Schadstoffverteilung die ungesättigte Bodenzone **bis unterhalb einer Schadstoffanreicherung oder eines auffälligen Bodenkörpers** zu beproben (i. d. R. mindestens bis einen Meter unterhalb der Schadstoffanreicherung unter Berücksichtigung der Grundwasserschwankungszone). Dabei soll geklärt werden, ob bereits Schadstoffverlagerungen in tiefer liegende Schichten eingetreten sind oder ob eine Abgrenzung nach unten möglich ist.

Bodenproben sind **kontinuierlich (mindestens eine Probe pro Meter) horizont- oder schichtbezogen und hinreichend repräsentativ** zu entnehmen. In begründeten Fällen ist die Zusammenfassung engräumiger Bodenhorizonte oder -schichten bis zu einem Meter Tiefenintervall zulässig (§ 22 Abs. 5 BBodSchV). Organoleptische Auffälligkeiten sind gesondert zu beproben. Für die Untersuchungen auf flüchtige organische Schadstoffe sind Einzelproben aus dem Boden vorzusehen, sofern keine Bodenluftuntersuchungen möglich sind. Im Hinblick auf die erforderlichen Eluatuntersuchungen sind ausreichend große Proben zu entnehmen.

#### 4.1.2 Wirkungspfad Boden-Mensch

Die in Tab. 2 aufgeführten Beprobungstiefen für den Wirkungspfad Boden-Mensch gelten unabhängig von der Bearbeitungsphase.

Zur Ermittlung der Verfügbarkeit der Schadstoffe sollen insbesondere folgende boden- und nutzungsabhängige Expositionsbedingungen bei der Probenahmeplanung bzw. Beprobung einbezogen werden, die im Gutachten zu dokumentieren sind (weitere Schritte siehe auch Merkblatt 3.8/8 und LABO (2020)):

- **Aufnehmbare Bodenmengen:** Hierbei sind Art und Anteil sowie der Zustand der Bodenbedeckung durch Bewuchs oder Versiegelung zu erfassen.
- **Aufenthaltsdauer und tatsächliche Nutzung:** Hierbei sind die tatsächlichen Nutzungen mit Prüfung der Nutzungskategorie (z. B. Bereich einer Park- und Freizeitanlage, auf der Kinder spielen) in Verbindung mit der Zugänglichkeit der Fläche und der Nutzungsfrequenz (Stunden pro Tag, Tage pro Jahr) zu ermitteln.
- **Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit** nach DIN 19738 zur Prüfung der mobilen oder mobilisierbaren Schadstoffanteile aus verschlucktem Boden (orale Aufnahme).
- **Zusätzliche Schadstoffaufnahme über andere Wirkungspfade:** Es ist zu prüfen, ob außer der Direktaufnahme (z. B. bei Hausgärten) noch eine zusätzliche, indirekte Schadstoffaufnahme durch den Verzehr von Nutzpflanzen erfolgt (z. B. Hausgarten mit Nutzgarten).

Bei hohen Prüfwertüberschreitungen (um mehr als das Zehnfache) kann von der Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit abgesehen werden, da hier i. d. R. kein Erkenntnisgewinn für die abschließende Gefährdungsabschätzung zu erwarten ist.

## 4.2 Bodenluftuntersuchungen

Bei Bodenluftuntersuchungen im Rahmen der Detailuntersuchung sind die Ausführungen zur Probenahmeplanung in Kap. 3.3 zu beachten.

Zur Bestimmung des Gasbildungspotenzials von Altablagerungen und zur Typisierung nach Gasphasen (I bis IX) werden Absaugversuche durchgeführt. Auch bei geringem Gaspotenzial sind Absaugversuche vor allem dann erforderlich, wenn unterkellerte Gebäude auf oder im Umfeld der Altablagerung stehen. Die Absaugbrunnen werden als stationäre Messstellen in den Zonen positioniert, in denen bei der Bodenluftbeprobung an temporären Messstellen die höchsten (Methan-)Konzentrationen nachgewiesen wurden.

## 5 Entnahme von Bodenproben

### 5.1 Allgemeines

Zur Probenahme von Boden für laboranalytische Untersuchungen sind Bodenaufschlüsse erforderlich. Die Auswahl des Aufschlussverfahrens richtet sich unter anderem nach den örtlichen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten, der Mächtigkeit und Zugänglichkeit des kontaminierten Bereiches, dem Untersuchungsziel sowie den Anforderungen an die Menge und Beschaffenheit der Probe.

Nach der Bodenansprache werden die Proben genommen und in geeignete Gefäße abgefüllt (Ausnahme: Proben zur Untersuchung auf leichtflüchtige Stoffe sind unverzüglich nach dem Aufschluss zu nehmen; siehe Kap. 5.3).

Insbesondere Bodenansprache, Bohrprofil, Probengewinnung, -konservierung, -lagerung, -transport und Art der Probengefäße sind in einem [Probenahmeprotokoll](#) lückenlos und nachvollziehbar zu dokumentieren (Musterprotokoll im Anhang 3).

Bodenproben zum [Wirkungspfad Boden-Grundwasser](#) sollen die jeweilige Mächtigkeit der zu untersuchenden Schichten/Horizonte oder Tiefenstufen repräsentieren.

[Es darf nicht über Schichtwechsel hinweg beprobt werden \(horizont- bzw. schichtbezogene Beprobung\). Pro Meter ist mindestens eine Probe zu entnehmen.](#)

In begründeten Fällen ist es zulässig, engräumige Horizonte bzw. Schichten bis zu einem Tiefenintervall von maximal einem Meter zu einer Probe zusammenzufassen (§ 22 Abs. 5 BBodSchV).

Flächenbezogene Mischproben (horizontal aus mehreren Beprobungspunkten) sind für den [Wirkungspfad Boden-Grundwasser](#) nicht zulässig. Sofern für einen Beprobungspunkt größere Probenmengen für die Analytik benötigt werden (z. B. für Säulenversuche), können im unmittelbaren Umfeld (bis etwa 0,5 Meter Abstand) von z. B. dem ersten Ansatzpunkt einer Rammkernsondierung weitere Sondierungen durchgeführt und das Material des jeweils beprobungsrelevanten Horizontes bzw. der Schicht zu einer Mischprobe (analog zur horizontierten Schurfbeprobung, siehe Kap. 5.2.6) zusammengefasst werden.

[Die Herstellung von Mischproben ist im Einzelfall immer zu begründen und zu dokumentieren.](#)

Flächenbezogene Mischproben für den [Wirkungspfad Boden-Mensch](#) sollen hinsichtlich ihres mittleren Schadstoffgehalts repräsentativ für die zu beurteilende Fläche sein (siehe auch Kap. 3.1.2).

Aus organoleptisch besonders auffälligen Bereichen (z. B. Öl- oder Teerverunreinigungen) sind zusätzliche [Proben \(Einzel- oder Mischproben\)](#) zu entnehmen (siehe DIN 19698-5).

[Rückstellproben](#) sind notwendig für Kontrolluntersuchungen oder für zusätzliche physikalisch-chemische Untersuchungen in einem zweiten Schritt (ergänzende Parameter, Säulenversuche etc.). Nur wenn die Proben auch in Bezug auf die neu hinzukommenden Parameter fachgerecht genommen wurden, darf der Untersuchungsumfang erweitert werden. Für die Untersuchung auf leichtflüchtige Schadstoffe sind Rückstellproben ungeeignet.

[Referenzproben](#) werden an Stellen entnommen, die von der Altlastverdachtsfläche sicher unbeeinflusst sind. Sie dienen der Ermittlung der lokalen geogenen oder anthropogenen Hintergrundgehalte. In Bezug zur Altlastverdachtsfläche sind Referenzproben aus den entsprechend relevanten Horizonten oder Schichten zu entnehmen. Die Verwendung von Referenzproben sollte einzelfallabhängig in Abstimmung mit der zuständigen Behörde und unter Berücksichtigung etablierter Hintergrundwerte erfolgen.

Das Probenmaterial soll in seiner chemischen, physikalischen und biologischen Beschaffenheit möglichst nicht verändert werden. Deshalb dürfen z. B. **Bohrspülungen** bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen nicht eingesetzt werden, da durch die Spülung stoffliche Veränderungen beim Probenmaterial hervorgerufen werden. Sind Spülbohrungen zur Erstellung von Grundwassermessstellen unvermeidlich, so ist als Spülflüssigkeit nur Wasser in Trinkwasserqualität (d. h. auch ohne Spülzusätze) zu verwenden.

## 5.2 Aufschlussverfahren

Tab. 3 gibt einen Überblick über die gängigen Aufschlussverfahren zur Probengewinnung bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen und deren Vor- und Nachteile. Weitere Beschreibungen zu Aufschlussverfahren können DIN ISO 18400-102 und DIN EN ISO 22475-1 entnommen werden.

### 5.2.1 Handbohrung

Für die Probenahme bis in Tiefen von etwa einem Meter (maximal zwei Metern) können Bohrstöcke (auch: Rillenbohrer, Sondierbohrer, Peilstangengerät oder Bohrstock nach Pürckhauer) verwendet werden. Der Bohrstock wird mithilfe eines Hammers von Hand eingeschlagen. Diese Aufschlussmethode ist einfach und schnell einsetzbar, aber wegen der geringen Durchmesser der Aufschlüsse **begrenzt repräsentativ**. Handdreh- und Bohrstockaufschlüsse werden i. d. R. bei der Bodenprobenahme zur Untersuchung der obersten Bodenschichten für den Wirkungspfad Boden-Mensch angewandt.

Die Probe wird dem Bohrstock mithilfe eines Spatels, Messers oder Ähnlichem entnommen. Um eine ausreichende Probenmenge zu erlangen, sind i. d. R. mehrere Einstiche erforderlich. Die Kontaktbereiche insbesondere zur Bohrlochwandung sollen verworfen werden.

### 5.2.2 Kleinrammbohrung (sog. Rammkernsondierung)

Kleinrammbohrungen oder sogenannte Rammkernsondierungen eignen sich als preisgünstige Aufschlussverfahren in unverfestigten bis gering verfestigten standfesten Böden. Je nach Untergrund sind mit Rammkernsondierungen Tiefen bis zu zehn Meter erreichbar. Beim Bohren wird die sogenannte Rammsonde, ein etwa ein Meter langes Entnahmerohr mit Längsöffnung, z. B. mithilfe eines (tragbaren) Elektrohammers in Meterschritten in den Boden gerammt und anschließend mit einem Ziehgerät wieder herausgezogen.

Um ausreichende Mengen repräsentativer Bodenproben zu gewinnen und das Untergrundprofil möglichst detailgetreu aufzunehmen, sollen Sonden mit einem **Außendurchmesser von 80 mm** eingesetzt werden (siehe Kap. 5.3). Sonden mit geringerem Durchmesser ebenso wie Kernrohre mit Längen von über einem Meter führen zu vermeidbaren Störeinflüssen an den Bohrkernrändern und zu Stauchungen des Bohrkerns.

Bei einem **Kernverlust** von über 20 % ist der Bohrkern für die Profilbeschreibung ungeeignet. In diesem Fall muss erneut angesetzt werden. Führt auch das nicht zum Erfolg, ist ein anderes Aufschlussverfahren zu verwenden.

Hinweise zur Gewinnung ausreichender Probenmengen (z. B. für Säulenversuche) aus Kleinrammbohrungen gibt Kap. 5.1.

Um Verschleppungen zu vermeiden, wird der Bohrkern mittels Spatel/Spachtel durch Abstreifen senkrecht zur Längsachse der Entnahmesonde von anhaftendem Boden befreit.

Nach der Bodenansprache (siehe Kap. 5.4) wird die Probe aus der seitlichen Öffnung der Rammsonde durch Ausstechen eines Segments gewonnen (siehe Abb. 1). Für eine schichtbezogene Einzelprobe wird das Bodenmaterial durchgängig über die gesamte Länge dieser Schicht bzw. dieses Horizonts ausgestochen. Beim Ausstechen ist darauf zu achten, dass die Kontaktbereiche zum Bohrgestänge, die

durch den Bohrvorgang am stärksten beeinflusst wurden (Erwärmung, Verschleppung etc.), nicht beprobt werden. Anschließend wird das Probengut in geeignete Probengefäße (Kap. 5.3) abgefüllt.

Tab. 3: Übersicht über Aufschlussverfahren bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen (nach LABO (2002), DIN ISO 18400-102 und DIN EN ISO 22475-1).  $D_e$ : Innendurchmesser des Bohrwerkzeugs

Verfahren	Bohrdurchmesser [mm]	ungeeignet für Bodenart	geeignet für Bodenart	Vorteile	Nachteile	Fehlerquellen
Handbohrung	15 - 80	Grobkies, Steine, Schutt, klumpige Böden	Ton, Schluff, bindiger Sand und ähnliche Böden	sehr schnell und kosten-günstig	nicht immer repräsentativ, nur bis max. 2 m, Kernverluste, Stauchungen	Randkontamination, ungenaue Profilsprache, Verlust leichtflüchtiger Schadstoffe
Kleinrammbohrung	35 - 80	Grobkies, große Steine, klumpige Böden, grobstückige Auffüllungen, Böden mit Korndurchmessern $> D_e/3$	Ton, Schluff, bindiger Sand und ähnliche Böden bevorzugt bis höchstens $D_e/5$	kostengünstig, schnell, auch in Kellern, Häusern etc.	Kernverluste, Stauchungen, Nachfall, Ausgasung	Randkontamination, ungenaue Profilsprache, Verlust leichtflüchtiger Schadstoffe
Rammkernbohrung	80 - 300	Böden mit Korndurchmessern größer als $D_e/3$ , feingeschichtete Böden	Ton, Schluff und Böden mit Korndurchmessern bis höchstens $D_e/3$	gute Kerne, auch unter Grundwasser einsetzbar	Erwärmung in festen Böden, Vermischung beim Entleeren der Schappe in nichtbindigen Böden	Verlust leichtflüchtiger Schadstoffe, Verschleppung von Schadstoffen
Rotationskernbohrung	65 - 300	feste Hindernisse	alle Böden	kostengünstig, große Probenmengen	Störung der Proben, Entmischung rolliger Böden, Erwärmung bei festen Böden	Vermischung von Probengut, Verlust von Feinkorn unter Grundwasseroberfläche, Verlust leichtflüchtiger Schadstoffe
Schlauchkernbohrung	80 - 200	Böden mit Korndurchmessern größer als $D_e/3$ , feingeschichtete Böden	Ton, Schluff und Böden mit Korndurchmessern bis höchstens $D_e/3$	exakte Profile, kein Luft- und Wasserzutritt zum Probenmaterial, Schutz vor Entgasung	aufwändiges Verfahren, anfällig gegen Störkörper	Wechselwirkung mit Schlauchmaterial
Schurf (begehrbar)		Große feste Hindernisse (z. B. Betonplatten)	alle Böden und Materialien	exakte Profile, Lagerung erkennbar, jede Probenmenge und -güte	Arbeitsschutz, Verbau, Entsorgung, Platzbedarf	Luftzutritt, Ausgasung leichtflüchtiger Schadstoffe
Aus Bagger-schaufel bei Schurf (nicht begehrbar)		Große feste Hindernisse (z. B. Betonplatten)	alle Böden und Materialien	jede Probenmenge, gut zur Bestimmung der Abfallzusammensetzung	Störung der Probe, Platzbedarf	Verlust leichtflüchtiger Schadstoffe, nur bedingt Profilsprache möglich

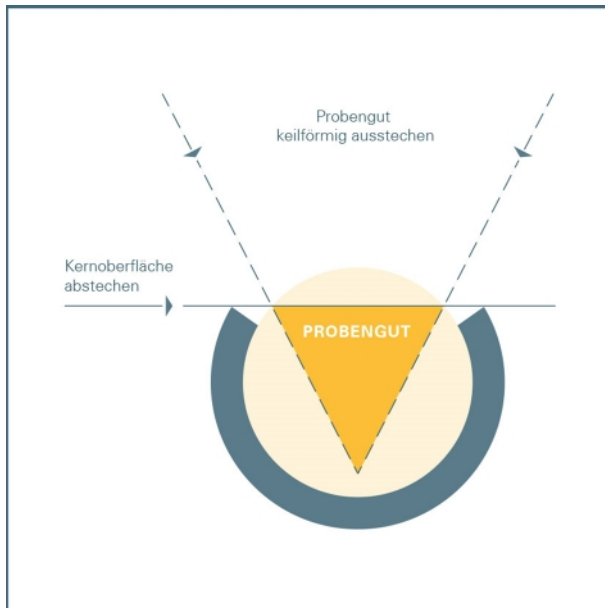


Abb. 1:  
Schematische Darstellung  
der Entnahme einer Boden-  
probe aus einer Rammkern-  
sonde.

### 5.2.3 Rammkernbohrung

Rammkernbohrungen werden i. d. R. mittels fahrbarer Geräteträger durchgeführt. Die Bohrdurchmesser von Rammkernbohrungen liegen gewöhnlich zwischen 80 mm und 300 mm. Es sind Bohrtiefen bis 50 Meter erreichbar. Die im Vergleich zur Kleinrammbohrung größeren Bohrdurchmesser erlauben eine detailliertere Aufnahme des Untergrundprofils (z. B. bei geringmächtigen Bodenhorizonten oder -schichten) und größere Probenmengen. Einflüsse des Probenahmeverfahrens (z. B. Verdrängung grobstückigen Materials, sodass es nicht in den Bohrkern gelangt) auf die Probe sind i. d. R. geringer.

Das Verfahren liefert im bindigen Lockergestein durchgehende Bohrkern, die i. d. R. für eine detaillierte Aufnahme des Bodenprofils geeignet sind. Für das Bohren im Fels ist es nicht geeignet. Im wassergesättigten Bereich lassen sich bei bindigen Böden und feinkörnigen Sanden noch gute Ergebnisse erzielen. Im Rahmen der Altlastenbearbeitung sind Rammkernbohrungen immer ohne Spülung durchzuführen (Trockenbohrverfahren). Meist werden Rammkernbohrungen in der Detailuntersuchung zur Errichtung von Grundwassermessstellen, zum Aufschluss mächtigerer Altablagerungen oder Auffüllungen sowie bei sehr grobkörnigen Böden eingesetzt.

Für die Probenahme sind die Randbereiche bzw. die Kontaktbereiche zum Bohrgestänge durch Abstechen großzügig abzutrennen (siehe Kap. 5.2.2).

### 5.2.4 Rotationskernbohrung

Im Rahmen von Altlastenuntersuchungen sind **Rotationskernbohrungen nur im Trockenbohrverfahren, d. h. ohne Spülung**, zulässig. Sie werden mithilfe von Einfachkernrohren ausgeführt und eignen sich vor allem für bindige und sandige Böden. Die üblichen Bohrdurchmesser liegen zwischen 65 mm und 300 mm, die erreichbaren Bohrtiefen bei etwa 30 Metern.

Aufgrund des Drehvorgangs wird das Material im Bereich der Kontaktzone zwischen Bohrkern und Entnahmerohr vermischt. Die Proben sind deshalb aus der weniger beeinflussten Kernmitte zu entnehmen.

### 5.2.5 Schlauchkernbohrung

Bei besonderen Fragestellungen (z. B. Erstellung eines exakten Bodenprofils, Entnahme von fließenden Böden, Untersuchung von Bodenproben auf leichtflüchtige organische Stoffe) kommen auch Schlauchkernbohrungen zur Anwendung. Bei Schlauchkernbohrungen wird der Bohrkern beim Bohren mit einem Kunststoffschlauch oder einer Kunststoffhülse (Liner) umhüllt.

Schlauchkernbohrungen liefern im Vergleich zu anderen Bohrverfahren die am wenigsten gestörten Proben und lassen eine genaue, horizontierte Probenahme zu. Kontaminationen im Randbereich des Kerns, Sauerstoffzutritt und Verluste von flüchtigen Stoffen können weitgehend vermieden werden. Das Verfahren ist jedoch teuer und aufwändig und kommt daher vorrangig bei speziellen Fragestellungen zur Anwendung. Störkörper oder grobes Material im Untergrund können den Schlauch beschädigen oder seine Füllung verhindern. Schlauch- oder Linermaterial und die weitere Lagerung und Aufarbeitung der Bohrkerns sind an die jeweils erwarteten Schadstoffe anzupassen. Um Schadstoffverschleppungen zu vermeiden sind bei der Probenahme die Kontaktbereiche zum Liner zu verwerfen.

### 5.2.6 Schurf

Das Anlegen von Schürfen mithilfe von Baggern (vorzugsweise Schaufelbagger) empfiehlt sich als preisgünstiges und schnelles Aufschlussverfahren vor allem auf Brachflächen und Altablagerungen. Schürfe eröffnen über einen größeren Bereich Einblicke in den Untergrundaufbau und ermöglichen es beliebige Mengen Probenmaterial zu entnehmen. Sie eignen sich zum Aufschluss grobkörniger Böden und für die Probenahme bei heterogenen Auffüllungen mit hohem Anteil an grobkörnigen Bestandteilen. Mit Schürfen können in standfesten Böden oberhalb des Grundwasserspiegels Aufschlusstiefen von bis zu etwa fünf Metern erreicht werden.

Die **Begehung von Schürfen** ohne Verbau und mit senkrechten Wänden zur Probenahme ist ohne weitere Schutzmaßnahmen aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen nur in Tiefen bis zu 1,25 Meter zulässig, wenn Fahrzeuge und Baugeräte die erforderlichen Abstände einhalten, keine besonderen Gegebenheiten oder Einflüsse die Standsicherheit gefährden, keine baulichen Anlagen gefährdet werden und die Neigung des Geländes bei nichtbindigen Böden höchstens 1:10, bei bindigen Böden maximal 1:2 beträgt (DIN 4124). Vor der Begehung von Schürfen im Bereich von Deponien und Alttablagerungen sind Gasmessungen (Methan, Kohlenstoffdioxid) zwingend erforderlich, um eine Gefährdung des Probenahmepersonals auszuschließen. Bei tieferen Schürfen sind weitere Arbeitsschutz- und Sicherheitsmaßnahmen zu treffen (siehe DIN 4124, DIN 18303 und DGUV Vorschrift 38). Sollen tiefere Schürfe begehbar gemacht werden, führt dies zu einem deutlichen materiellen und finanziellen Mehraufwand.

Aus **begehbaren Schürfen** lassen sich horizontgenau beliebige Mengen gestörter und ungestörter Proben gewinnen. Die Probenahme erfolgt direkt aus der Stirnfläche des Schurfs. Vor der Probenahme ist die Stirnseite zu säubern bzw. frisch abzuschälen. Um Störungen durch herabfallendes Material zu minimieren und um Verschleppungen von Verunreinigungen zu vermeiden, ist von unten nach oben zu beproben. Die Lage der Probenahmestellen ist im Probenahmeprotokoll zu skizzieren und sollte ergänzend durch Fotos dokumentiert werden.

Bei nicht begehbaren Schürfen erfolgt die Probenahme aus der Baggerschaufel oder aus abgelegtem Material mit dafür geeignetem Probenahmegerät (z. B. Bohrstock, Probenstecher, Handbohrer, Flügelbohrer, Spaten, Handschaufel). Eine genaue Zuordnung zu Horizonten ist dabei jedoch nur eingeschränkt möglich. Die Entscheidung, welches der beiden Verfahren angewendet wird, richtet sich nach dem Untersuchungsziel, dem Platzangebot, der zur Verfügung stehenden Zeit und ggf. der Heterogenität des Bodenmaterials.

Die Probenahme aus der Baggerschaufel sollte möglichst schichtbezogen erfolgen. Aus mehreren Einzelproben aus einer Baggerschaufel oder jeweils einer Einzelprobe aus mehreren Schaufelfüllungen wird eine Mischprobe erstellt. Dabei wird die Baggerschaufel möglichst vollständig durchörtet (LAGA PN 98). Die Einzelproben werden entsprechend den Anforderungen in Kap. 5.3 gemischt und homogenisiert.

Insbesondere bei der Untersuchung von Alttablagerungen kann es zielführend sein, Material zunächst nach Schichten getrennt als Haufwerke neben dem Schurf abzulegen und daraus repräsentative Mischproben zu entnehmen (siehe hierzu LAGA PN 98). Für eine Untersuchung auf leichtflüchtige Schadstoffe ist dieses Vorgehen nicht geeignet.



### 5.3 Probengewinnung

Die Art der Probengewinnung richtet sich im Wesentlichen nach dem angewendeten Aufschlussverfahren und dem geplanten Untersuchungsspektrum. Folgende allgemeine Hinweise sind zu beachten:

Bei Bohrungen soll in Abhängigkeit der Aufschlussart der **Innenrohrdurchmesser** mindestens das Drei- bis Fünffache des Größtkorndurchmessers des zu untersuchenden Bodens betragen (siehe Tab. 3).

Beispiel: Eine Kleinrammbohrung mit einem Außendurchmesser von 80 mm und einem Innendurchmesser ( $D_e$ ) von 70 mm kann zur Untersuchung von Böden mit einem Größtkorndurchmesser von maximal 14 mm ( $D_e/5$ ; siehe Tab. 3) eingesetzt werden. Die Mittelkiesfraktion (Korndurchmesser bis 20 mm) kann in diesem Fall nicht mehr repräsentativ erfasst werden.

**Sonden mit Durchmessern unter 50 mm** sind für die Entnahme von Bodenproben bei der Untersuchung von Altlasten und Altlastverdachtsflächen (Wirkungspfad Boden-Grundwasser) nicht geeignet, da die beim Bohrvorgang verursachten Störungen an den Bohrkernrändern und Stauchungen des Bohrkerns nicht tolerierbar sind.

Um zu vermeiden, dass ggf. kontaminiertes Bodenmaterial an der Oberfläche zurückbleibt, sind bei der Probengewinnung **Unterlagen** (z. B. Kunststoffplanen) zu verwenden. Dies gilt insbesondere bei Schürfen, bei denen größere Mengen ausgehobenen Bodenmaterials an der Oberfläche abgelegt werden.

Für **Probenahmegeräte** sind ausschließlich Materialien geeignet, die weder Stoffe aus der Probe aufnehmen (Gefahr von Minderbefunden) noch an die Probe abgeben (Verunreinigungen) z. B. unbeschichteter Edelstahl.

Die verwendeten Probenahmegeräte sind nach jeder Probenentnahme sorgfältig zu **reinigen**, um Schadstoffverschleppungen (z. B. zwischen Bodenhorizonten oder -schichten) zu vermeiden. Die Reinigung erfolgt mit sauberem Wasser und kann durch Bürsten unterstützt werden. Zur schnellen Trocknung sollten Einmaltücher verwendet werden. Bei organischen Verunreinigungen muss Wasser mit Reinigungsmittel und ggf. Aceton verwendet und mit sauberem Wasser nachgespült werden. Generell ist auf größte Sauberkeit von Aufschlussgeräten und Probenahmegerätschaften zu achten.

Bei der Probenahme sind Querkontaminationsmöglichkeiten auszuschließen. Sie ergeben sich z. B., wenn Probenahmegeräte auf nicht gereinigten Oberflächen abgelegt werden oder wenn Proben mit Händen, Arbeitshandschuhen bzw. bereits bei anderen Probenentnahmen verwendeten Handschuhen angefasst werden.

**Kraftstoffbetriebene Stromaggregate, Fahrzeuge und Geräte** sind in ausreichender Entfernung auf der windabgewandten Seite so aufzustellen, dass Probenkontaminationen oder -veränderungen durch Kontakt mit Kraftstoffdämpfen, Kraftstoffspritzern oder Abgasen ausgeschlossen werden. Keinesfalls dürfen Proben im Einflussbereich einer Abgasfahne genommen oder aufbewahrt werden.

Das bei Sondierungen und Bohrungen im Bohrloch **nachgefallene Material** ist zu verwerfen, um Verschleppungen zu vermeiden. Dies gilt auch für Material aus den Kontaktbereichen zum Bohrgestänge oder bei Linerbohrungen für das am Kunststoffschlauch bzw. der Kunststoffhülse anhaftende Material. Auch bei der Probenahme aus nicht begehbaren Baggerschürfen ist das Material aus dem Kontaktbereich mit der Baggerschaufel sowie 5 bis 10 cm der Oberfläche vor der Probenahme zu entfernen.

Die Proben müssen repräsentativ sein. D. h. Bestandteile dürfen nicht aussortiert werden. Andernfalls ist das im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

Die **Probenmenge** richtet sich nach dem Untersuchungsspektrum, dem Größtkorn (maximale Korngröße) des Materials sowie den jeweiligen Anforderungen des Labors. Einzelne größere Stücke oder in einem geringen Prozentsatz (kleiner 5 Vol.-%) enthaltene gröbere Fraktionen werden nicht zur Bestimmung des

Größtkorndurchmessers herangezogen (LAGA PN 98; DIN 19698-5; DIN ISO 18400-104). Bei der Probenahme ist sicherzustellen, dass die entnommene Bodenmenge ausreicht, um die für die Analysen notwendige Menge an Eluat erhalten zu können. Hierzu ist eine enge Abstimmung zwischen probenehmer der Untersuchungsstelle und Analytiklabor erforderlich, da sich die Anforderungen von Labor zu Labor verfahrensbedingt stark unterscheiden können.

Zur Gewährleistung einer repräsentativen und für die chemischen Laboruntersuchungen ausreichenden Probenmenge ist bei **feinkörnigen Böden** (Korngrößen bis 2 mm) zur Herstellung einer Prüfprobe<sup>1</sup> i. d. R. eine Mindestprobenmenge von 0,5 kg bis 1 kg feldfrischem Probenmaterial erforderlich. Bei **grobkörnigen Materialien** (meist inhomogenes Material oder Material mit hohem Skelettgehalt) sollte die Entnahmemenge in Abhängigkeit des Größtkorns erhöht werden. Tab. 4 gibt Anhaltspunkte zu den erforderlichen Mindestprobenmengen.

Bei Untersuchungen auf **PAK oder MKW** sind deutlich höhere Eluatmengen erforderlich (etwa je ein Liter für PAK/MKW). Dies wirkt sich insbesondere bei feinkörnigen Böden auf die Mindestprobenmengen aus. Für Säulenversuche ist mindestens 1 kg Probenmaterial vorzusehen. Angaben zu den zur Eluatherstellung mindestens erforderlichen Bodenprobenmengen in Abhängigkeit des Größtkorns sind in Merkblatt 3.8/5 enthalten. Probenmengen für Rückstellproben sind bei der Probenahmeplanung zu berücksichtigen. Hinweise zur Gewinnung ausreichender Probenmengen aus Kleinrammbohrungen sind in Kap. 5.1 aufgeführt.

Größtkorn [mm]	Mindestmenge, feldfrisch [kg]	Mindestmenge [l]
≤ 2	0,5 – 1 <sup>1)</sup>	0,3 – 0,6 <sup>1)</sup>
> 2 bis ≤ 10	1 <sup>1)</sup>	0,6 <sup>1)</sup>
> 10 bis ≤ 22,4	1,5 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>
> 22,4 bis ≤ 32	3,5	2,2
> 32 bis ≤ 63	6	3,75

Tab. 4: Mindestmengen der Einzel- und Mischproben in Abhängigkeit von der maximalen Korngröße.

<sup>1)</sup>: bei Untersuchungen auf PAK oder MKW ist mit deutlich höheren Mindestprobenmengen zu rechnen

Angaben zu **Mindestprobenlängen** bei Sondierungen und Bohrungen in Abhängigkeit vom Größtkorn und vom Innendurchmesser des Entnahmerohrs, die für die Gewinnung von 1 kg Probe erforderlich sind, sind der Tab. 5 zu entnehmen. Sollen Grobmaterialien, die möglicherweise Schadstoffe enthalten, für Einzelanalysen aufbereitet werden, sind hiervon repräsentative Proben zu entnehmen und die Massenanteile im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

**Große Probenmengen**, wie sie z. B. bei der Beprobung von nicht begehbaren Schürfen anfallen, erfordern eine Teilung bzw. Einengung entsprechend des Volumens des Probengefäßes. Dies kann z. B. mittels Mischkreuz, fraktioniertem Schaufeln, Probenstecher oder Riffelteiler erfolgen. Zur Verjüngung mittels Mischkreuz wird das Material auf eine Arbeitsunterlage (z. B. Edelstahlplatte) geschüttet, homogenisiert, mit einer Schaufel durchmischt und zu einem Kegel aufgetürmt. Anschließend wird mittels des Probenkreuzes so oft geviertelt und das Material zweier gegenüberliegender Viertel verworfen, bis die erforderliche Probenmenge erhalten wird. Weitere Hinweise zur Probenverjüngung finden sich beispielsweise in LAGA PN 98.

<sup>1</sup> Aus der Laborprobe hergestellte Probe. Das Prüfprobenmaterial bildet die Grundlage für die nachfolgenden Untersuchungen und Analysen (DIN 19747).

Tab. 5: Mindestprobenlängen für 1 kg Material in Abhängigkeit vom Bohrdurchmesser (in Anlehnung an LABO (2002)).

Außendurchmesser [mm]	Innenrohrdurchmesser [mm]	Zulässiges Größtkorn [mm]	Mindestprobenlänge [mm] <sup>1)</sup> für 1 kg Material bei Dichte = 1,6 kg/dm <sup>3</sup>
200	180	60	50
100	90	30	200
80	70	14 <sup>2)</sup> / 23 <sup>3)</sup>	320
60	50	10	640
50	40	8	1000

<sup>1)</sup> Die Angaben beziehen sich nicht auf den vollständigen Kern, sondern nur auf das entnommene Segment (siehe Abb. 1).

<sup>2)</sup> Bei Handbohrungen und Kleinrammbohrungen

<sup>3)</sup> Bei sonstigen Bohrungen (s. Tab. 3)

Probengefäße sind in Absprache mit dem beauftragten Untersuchungslabor auszuwählen oder werden von diesem bereitgestellt.

Für Proben, die auf **organische Schadstoffe** untersucht werden sollen, sind gasdicht verschließbare (Braun-)Glasflaschen zu verwenden. Sollen Proben auf per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) untersucht werden, sind Probengefäße aus Polyethylen (PE) einzusetzen (DIN 38414-14). Bei flüchtigen organischen Schadstoffen sind entsprechend vorgereinigte und ausgeheizte gasdichte Gefäße zu verwenden.

Sind für Untersuchungen auf **anorganische Parameter** größere Mengen an Probenmaterial erforderlich, reichen i. d. R. Gefäße oder Beutel aus PE aus.

Die Probengefäße sind möglichst vollständig und ohne Luftraum zu befüllen. Hierzu sollte das Material bei der Befüllung mit einem sauberen Gegenstand (z. B. Edelstahlöffel) verdichtet werden. Die Proben sind dunkel und kühl zu lagern und zu transportieren. Das gilt insbesondere bei Untersuchung auf organische Stoffe.

Alle Proben sind spätestens an dem auf die Probenahme folgenden Tag im Labor abzugeben. Es ist sicherzustellen, dass die Analyse zeitnah erfolgt. Die Analyse auf leichtflüchtige organische Stoffe hat bei den mit Methanol überschichteten Bodenproben analog der Analytik von Wasserproben nach DIN 38407-43 bzw. DIN EN ISO 10301 innerhalb von 48 Stunden zu erfolgen. Vorgaben zur maximalen Lagerungsdauer ab dem Zeitpunkt der Probenahme von Bodenproben bei unterschiedlichen Bedingungen und Untersuchungsparametern sind der DIN ISO 18512 zu entnehmen. Probenlagerung, -transport und Art der Probengefäße sind im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

Hinweise zur Probenvorbehandlung finden sich im Merkblatt 3.8/5 und in der DIN 19747.

#### **Probenahme bei Verdacht auf flüchtige organische Schadstoffe:**

Insbesondere bei der Untersuchung von Bodenproben auf leichtflüchtige Schadstoffe sind Bohrfortschritt und Entnahme des Probenmaterials aufeinander abzustimmen. Hierzu wird die Einzelprobe für die Untersuchung auf leichtflüchtige Schadstoffe **unmittelbar nach dem Ziehen der Sonde und dem Abstreifen von randlichem Material und vor der Bodenansprache** genommen. Andernfalls kann es durch Ausgasen flüchtiger Stoffe zu Minderbefunden kommen. Auch Oxidationsprozesse infolge längerer Kontaktes mit der Außenluft können Veränderungen des Analytgehalts im Probenmaterial hervorrufen.

Um die Ausgasung möglichst gering zu halten, ist die Bodenprobe als Einzelprobe aus einem möglichst ungestörten Bereich des frischen Bohrkerns bzw. der frisch abgeschälten Schurfwand **ohne Aufbrechen des Materials und ohne Zeitverlust** zu entnehmen. Dies geschieht mithilfe von sogenannten Probenstechern oder abgeschnittenen Einweg-Kunststoffspritzen, die etwa 25 g des zu untersuchenden Materials aufnehmen können. Grobe Bodenbestandteile sollen nicht miterfasst werden.

Um Verluste beim Probentransport zu vermeiden, ist die Bodenprobe bereits am Probenahmeort mit einer definierten Menge eines geeigneten Lösemittels (z. B. Methanol) zu überschichten und gasdicht (PTFE-beschichtete Dichtungen oder Septen) zu verschließen (siehe auch HLUG (2000) und DIN EN ISO 22155). Die Ränder der Gläser sind vor dem Verschließen von Verunreinigungen zu säubern, damit das Probengefäß gasdicht verschlossen werden kann. Beim Transport von Methanol sind die einschlägigen Gefahrgutvorschriften zu beachten.

Auch durch Schlauchkern- oder Linerbohrungen (siehe Kap. 5.2.5) können bei der Probenahme Verluste von flüchtigen Stoffen weitgehend vermieden werden. Das Schlauch- oder Linermaterial und die weitere Lagerung und Aufarbeitung der Bohrkerns muss an die jeweils erwarteten Schadstoffe angepasst werden. Beispielsweise können leichtflüchtige organische Stoffe an das Schlauchmaterial adsorbieren.

#### 5.4 Bodenansprache und Profilbeschreibung

Die Bodenansprache und die Profilbeschreibung sind wichtig für die Interpretation und Bewertung der Untersuchungsergebnisse. Direkt nach Ziehen der Sonde sind Verschleppungen an den Bohrkernrändern oder entlang der Sondenöffnung, z. B. mittels eines Spachtels, senkrecht zur Längsachse des Bohrkerns zu entfernen. Unmittelbar danach wird der Boden angesprochen. Die Probenahme **auf leichtflüchtige Schadstoffe** ist **vor der Bodenansprache** durchzuführen (siehe auch Kap. 5.3).

Nach § 20 in Verbindung mit § 18 BBodSchV ist bei Altlastverdachtsflächen der Boden auf der Grundlage der **Kurz-KA 5** (2009) insoweit anzusprechen, wie für die jeweilige Fragestellung erforderlich. Ein an die Altlastenbearbeitung angepasstes Muster-Probenahmeprotokoll auf Basis der Kurz-KA 5 (2009) findet sich im Anhang 3. Die Erläuterungen können der Kurz-KA 5 (2009) entnommen werden. Weitere Hinweise enthält die DIN 4220. Um den Standort in dem Umfang zu beurteilen, wie es für die Gefahrenbewertung erforderlich ist, sind ggf. weitere Feld- und Laborparameter (z. B. Hohlräume wie Risse und Poren, Anzeichen biologischer Aktivität) zu bestimmen und zu dokumentieren.

Besonders wichtig ist die genaue Beschreibung altlastenbezogener Merkmale wie organoleptische Auffälligkeiten (Farbe, Geruch, Konsistenz, Auftreten von Schadstoffen in Phase etc.) und anthropogene Beimengungen (Art, Korngrößen, Farbe, Anteil). Um eine einheitliche Ansprache von Bodenfarben zu gewährleisten, sind Farbtafeln wie die „Munsell Soil Color Charts“<sup>2</sup> als Referenz zielführend. An mindestens einem ausgewählten Probenahmepunkt sollen diese für die Bodenansprache herangezogen werden. Die Vorgehensweise ist im Kap. 2.4.3.3.2 der Kurz-KA 5 (2009) beschrieben. An weiteren Probenahmepunkten ist die Ansprache über vereinfachte Farbtafeln zulässig, sofern die Horizontabfolgen vergleichbar sind.

Die Farbansprache mit Hilfe der „Munsell Soil Color Charts“ eignet sich auch, um den Humusgehalt vor Ort abzuschätzen (siehe Kap. 2.4.3.5 der Kurz-KA 5 (2009)).

Der Carbonatgehalt wird vor Ort entsprechend Kurz-KA 5 (2009) mit Hilfe 10-prozentiger Salzsäure bestimmt. Hierzu ist Salzsäure auf zuvor entnommenen Boden aufzubringen. Der mit Salzsäure beaufschlagte Boden ist anschließend zu verwerfen. Zu gering konzentrierte Salzsäure führt zu Minderbefunden.

---

<sup>2</sup> Herausgeber: Munsell Color, Inc., Grand Rapids, Michigan, USA, 2009 (<https://munsell.com>)

Wenn parallel zur Altlastenuntersuchung auch geotechnische Eigenschaften (z. B. Baugrund) untersucht werden sollen, kann es sinnvoll sein, die Bodenbeschreibung auf Grundlage der Normen für die geotechnische Erkundung (DIN EN ISO 22475-1; DIN EN ISO 14688-1; DIN EN ISO 14689) unter Einbeziehung mindestens der obligatorischen Parameter der Kurz-KA 5 (2009) durchzuführen.

Die grafische Darstellung des Profils erfolgt nach DIN 19673 oder DIN 4023.

Bei Mischproben kann es erforderlich sein, jeden einzelnen Einstich zu beschreiben.

## 5.5 Dokumentation und Probenahmeprotokoll

Der wesentliche Bestandteil der Dokumentation der Probenahme ist das Probenahmeprotokoll, in dem alle relevanten Daten (Titeldaten, Standortbeschreibung, Beschreibung der Aufnahmesituation sowie des Aufschluss- und Entnahmeverfahrens, Probenbeschreibung sowie Angaben zum Probentransport und zur Lagerung) einzutragen sind.

Im Muster-Probenahmeprotokoll in Anhang 3 sind obligatorisch auszufüllende Datenfelder weiß hinterlegt.

Die **Titeldaten** im Teil 1 des Muster-Probenahmeprotokolls umfassen alle Angaben zum Projekt und zur Gesamtuntersuchungsfläche, wie z. B. Projektbezeichnung und/oder -nummer, Katasternummer, Auftraggeberin bzw. Auftraggeber, Versiegelungsart und -grad. Dieser Teil gilt für alle Beprobungspunkte der zu untersuchenden Fläche.

Im Teil 2 sind alle **punktbezogenen Daten** zur Standortbeschreibung, wie z. B. Rechts-/Hochwerte, Höhenlagen der Probenahme- oder Messstellen sowie die Beschreibung der vorgefundenen örtlichen Verhältnisse zum Zeitpunkt der Probenahme (z. B. Witterung, Flächennutzung, Vegetation, Versiegelung) und zum Aufschlussverfahren (z. B. Angaben zu den verwendeten Bohrwerkzeugen und Gerätetypen, Sonden- und Bohrlochdurchmesser, Bohrtiefen, ggf. zum Ausbau der Bohrungen, Verwendung kraftstoffbetriebener Aggregate und Geräte) aufzunehmen. Die Probenahme selbst ist ebenfalls zu beschreiben, z. B. das Entnahmegesetz, die Reinigung und ggf. die Mischprobenbildung.

Zur vollständigen Dokumentation gehören darüber hinaus die genaue **Profilbeschreibung** (Schichtenverzeichnis nach Kurz-KA 5 (2009) bzw. auf Grundlage der DIN EN ISO 14688-1 und DIN EN ISO 14689 unter Einbeziehung mindestens der obligatorischen Parameter der Kurz-KA 5 (2009)) und die **grafische Darstellung** des aufgenommenen Profils (nach DIN 19673 oder DIN 4023). Das Muster-Probenahmeprotokoll im Teil 3 des Anhangs 3 enthält die nach den Empfehlungen der Kurz-KA 5 (2009) für die Altlastenbearbeitung relevanten Angaben. Zu dokumentieren sind zudem organoleptische Auffälligkeiten, die eingesetzten Probengefäße sowie Angaben zu Probentransport und -lagerung. Insbesondere Bohrprofile von Auffüllungen und Baggerschürfe sollten mit Fotos dokumentiert werden.

Die Lage der Probenahmestellen ist in einen maßstäblichen Detaillageplan (aktueller Flurplan) einzutragen. Hierzu kann auch eine fotografische Dokumentation zweckmäßig sein. Abweichungen vom Probenahmeplan (z. B. Änderung der Anzahl/Lage von Probenahmestellen oder Art der Probengewinnung) sind zu dokumentieren und zu begründen.

## 6 Entnahme von Bodenluftproben

Bodenluft wird bei der Altlastenuntersuchung zur Bestimmung von leichtflüchtigen organischen Schadstoffen (BTEX, LHKW, n-Alkane) oder zur Untersuchung von Deponiegas auf seine Hauptkomponenten Methan und Kohlenstoffdioxid sowie Sauerstoff und ggf. Schwefelwasserstoff beprobt. Die nachfolgenden Ausführungen orientieren sich an der VDI 3865-2 und beziehen sich schwerpunktmäßig nicht auf die Bestimmung von Deponiegasen.

Leichtflüchtige organische Schadstoffe im Untergrund unterliegen einer **Vielzahl von Einflüssen**, die ihr Mobilitäts- und Freisetungsverhalten beeinflussen können. Hierzu gehören insbesondere die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Bodenmatrix, die Schadstoffzusammensetzung sowie atmosphärische und hydrogeologische Einflüsse, welche z. B. die Bodenfeuchte steuern. Infolge räumlicher und bzw. oder zeitlicher Änderungen dieser Einflussfaktoren können auch die Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft variieren. Zudem stellt jede Bodenluftprobenahme einen Eingriff in das betrachtete System dar, der zu Artefakten führen kann. Deshalb ist neben den o. g. Einflussfaktoren auch der Einfluss der Probenahme auf die Ergebnisse zu berücksichtigen. Die Qualitätssicherungsstandards sind daher bei Bodenluftprobenahmen strikt einzuhalten.

Wurden Qualitätssicherungs- und Dokumentationsstandards nicht berücksichtigt, sind die Bodenluftbefunde nicht reproduzierbar und dürfen nicht für die Bewertung der Schadenssituation herangezogen werden.

Einen Überblick über die einzuhaltenden Standards gibt die Checkliste in Anhang 2.

Die **Auswahl der Probenahmetechniken und Probengefäße** hängt von der Fragestellung (z. B. Vergleichbarkeit mit früheren Messungen, besonders flüchtige Komponenten) ab. Das beauftragte Labor sollte die Probengefäße zur Verfügung stellen, damit die Proben nicht im Labor in analysegerätikonforme Gefäße umgefüllt werden müssen. Minicans als Probengefäße erfordern i. d. R. einen solchen Umfüllschritt, bei dem die Probe verdünnt werden oder Teile der enthaltenen Analyte adsorbiert werden können, was zu Minderbefunden führen kann.

Da die Arbeitsschritte detailliert zwischen Auftraggeberin bzw. Auftraggeber, Sachverständigen, probenehmender Untersuchungsstelle und Labor abzustimmen sind, wird empfohlen, die Probenahme, die Analyse und das Gutachten gemeinsam zu beauftragen.

Im Folgenden werden Hinweise zur Errichtung von temporären und stationären Messstellen, zur Gewinnung von Bodenluftproben mittels verschiedener Entnahmeverfahren sowie zur Qualitätssicherung und Dokumentation der Bodenluftprobenahme gegeben.

### 6.1 Bodenluftmessstellen

#### 6.1.1 Temporäre Messstellen

Temporäre Bodenluft-Messstellen eignen sich zur einmaligen Probenahme. Hierzu wird i. d. R. mittels Kleinrammbohrung (50 bis 80 mm Durchmesser) ein Bohrloch erstellt. Dies erfolgt i. d. R. durch Abteufen und Ziehen des Sondiergestänges. Für die Bodenluftabsaugung wird in das Bohrloch ein Entnahmesystem (Sonde, Absauglanze) eingebracht. Bohrwerkzeug und Entnahme-/Abdichtungssystem sind aufeinander abzustimmen.

Der zu beprobende Bereich des Sondierlochs ist in jedem Fall vor Entnahme der Bodenluft gegen die Atmosphäre hermetisch abzudichten. Dies erfolgt i. d. R. über Packer. In Einzelfällen auch mit Quellton. **Bei Einsatz eines Packers ist sicherzustellen, dass dieser gasdicht sowohl gegen die Wand des Sondierlochs wie auch gegen die Sonde abschließt.** Packer, die auf dem Sondenrohr verschoben werden können, sind meist mit einem O-Ring gegen das Sondenrohr gedichtet. Ist dieser O-Ring verschmutzt,

schadhaft oder zu klein dimensioniert, kann das zu Wegsamkeiten führen, über die atmosphärische Luft angesaugt werden kann.

Packer bieten den Vorteil, dass Bodenluft aus definierten Bereichen deutlich unterhalb der Geländeoberkante entnommen werden kann. Wenn das Dichtungssystem an der Geländeoberkante platziert wird, besteht das Risiko, dass es umspült und atmosphärische Falschluff angesaugt wird. Das betrifft insbesondere Dichtkegel. Diese dürfen deshalb ausschließlich im begründeten Einzelfall eingesetzt werden.

Beim Ausbau von temporären Bodenluftmessstellen zur Bohrlochstabilisierung sind Materialien zu verwenden, die gegenüber Sorptionsvorgängen unempfindlich sind (PVC und HDPE sind ungeeignet), um beispielsweise Querkontaminationen bei Wiederverwendung in einem anderen Bohrloch zu vermeiden.

Das Bohrprofil ist aufzunehmen und im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren (siehe Kap. 6.3). Nach Abschluss der Probenahme ist das Bohrloch wieder zu verfüllen (z. B. mit Quellton oder Zement/Bentonit, siehe Kap. 2.9).

### 6.1.2 Stationäre Messstellen

Stationäre Bodenluftmessstellen sind ortsfeste Probenahmestellen für die Entnahme von Bodenluft oder Deponiegas. Sie ermöglichen die wiederkehrende Beprobung von Bodenluft/Deponiegas am selben Ort unter annähernd gleichen Randbedingungen über einen längeren Zeitraum. Mit stationären Bodenluftmessstellen werden i. d. R. Horizonte zwischen einem Meter unter Geländeoberkante (GOK) bis zum Grund- oder Stauwasserhorizont erschlossen. Die tatsächliche Tiefenlage richtet sich nach der Fragestellung, der Bodenbeschaffenheit sowie der technisch erforderlichen Auslegung der Messstellen.

An Standorten, bei denen keine Beschädigungen aufgrund bodenmechanischer Beanspruchungen zu erwarten sind, werden die stationären Bodenluftmessstellen im Regelfall mit Kunststoff (PVC, HDPE) ausgebaut. Im Gegensatz zu temporären Messstellen kann der Einfluss des Ausbaumaterials bei stationären Messstellen vernachlässigt werden.

Beim Bau einer stationären Bodenluftmessstelle ist Folgendes zu beachten:

- Die Bohrung sollte einen **Minstdurchmesser von 80 mm** haben.
- Die Verrohrung aus Kunststoff (PVC, HDPE) oder Edelstahl sollte den Anschluss einer Probenahmeverrichtung ermöglichen. Der Innenrohrdurchmesser sollte **mindestens DN 25** betragen.
- Beim Einbau der Verrohrung sind **gasdichte Verbindungsmuffen** zu verwenden, um zu verhindern, dass atmosphärische Luft oberhalb der Filterstrecke eindringt.
- Die Messstelle ist nach oben zu verschließen; ggf. Absperrung durch Schieber bei volumenabhängigen Absaugmaßnahmen.
- Um die Diffusion der Bodenluft in die Messstelle zu gewährleisten, ist im Ringraum zwischen der Rohrwandung und der Bohrlochwand eine an die Körnung des anstehenden Bodens und an die Schlitzweite des Filterrohres angepasste Filterpackung aus trockenem Sand oder Kies einzubringen. Der Einbau geeigneter Dichtungsmaterialien in bestimmte Tiefenzonen ermöglicht eine tiefenorientierte Beprobung.
- Die Filterstrecke sollte im Normalfall erst etwa **1,5 Meter unter GOK** beginnen, um den Zutritt von Außenluft weitgehend auszuschließen. Hierzu wird i. d. R. dort ein Filterrohr eingebaut. Filterstrecken sind so zu wählen, dass sie die kontaminierten Bodenhorizonte erfassen.
- Das Bohrloch mit der Verrohrung und dem Filterkies/-sand ist außen mindestens im obersten Meter gegenüber atmosphärischer Luft, z. B. mit einer **Zement/Bentonit-Suspension**, abzudichten. Ausnahmen sind zu begründen.

- Beim Einbau der stationären Bodenluftmessstelle unter Flur ist die Messstelle auf geeignete Weise abzudecken, z. B. mit Hydrantenkappen oder durch Betonringausbau.

Das Bohrprofil ist, wie in Kap. 5.4 beschrieben, aufzunehmen.

## 6.2 Gassammelbehältnisse und Adsorptionsröhrchen

### 6.2.1 Headspace-Gläschen

Headspace-Gläschen sind entweder mit einem wulstigen Rand oder mit einem Gewinde zum Aufschrauben einer Verschlusskappe erhältlich. Nur Headspace-Gläschen mit wulstigem Rand, die mit einer dünnen Septumkappe aus Metall und einem PTFE-kaschierten Butylkautschukseptum mittels einer speziellen Crimpzange verbördelt werden, haben sich in der Praxis als ausreichend dicht erwiesen. Bei der Planung ist sicherzustellen, dass die verwendeten Gläschen für den automatischen Probengeber (Auto-sampler) des Gaschromatografen im Labor geeignet sind. Zu verwenden sind Gläschen in der richtigen Größe, Form und ggf. mit spezieller Kappe, falls der Probengeber über ein Magnet-Greifsystem verfügt oder eine bestimmte Geometrie erfordert.

### 6.2.2 Minicans

Hierbei handelt es sich um dünnwandige Gasflaschen aus Aluminium mit einem Liter Innenvolumen. Auf sie kann ein Befüll- und Entnahmeventil mit Manometer aufgeschraubt werden. Üblicherweise werden Minicans vom Labor gereinigt (ausgeheizt) und evakuiert zur Verfügung gestellt. Idealerweise wird das Ventil direkt über eine selbstschließende Kupplung mit der Bodenluftsonde verbunden.

Wichtiger Hinweis:

I. d. R. wird die Probe im Labor zur Messung in ein anderes Gefäß umgefüllt. Es ist schwierig auszuschließen, dass die Probe dabei durch Atmosphärenluft verdünnt wird.

### 6.2.3 Glaspipetten

Damit sind gläserne Pasteurpipetten gemeint, deren hintere (weitere) Öffnung zugeschmolzen wurde. Somit ergibt sich ein Probenvolumen von etwa 1 bis 2 ml. Durch die lang ausgezogene, enge Öffnung kann mittels einer langen Kanüle auf einer Gasspritze die Gasprobe eingefüllt werden. Hierbei ist deutlich zu überfüllen, um ursprünglich vorhandene atmosphärische Luft restlos auszuspülen. Unmittelbar danach wird auch dieses Ende mit einer Brennerflamme zugeschmolzen. Im Labor wird das lang ausgezogene Ende wieder aufgebrochen, die Probe auf eine Gasspritze aufgezogen und von Hand in den Einlass eines Gaschromatografen injiziert.

Wichtiger Hinweis: Die Handhabung dieses Verfahrens ist im Detail anspruchsvoll und sollte nur von darin geübten Untersuchungsstellen durchgeführt werden.

### 6.2.4 Weitere Direkt-Sammelgefäße

Gasproben können auch in spezielle Gasproben-Beutel oder in gläserne Gasmäuse (ggf. mit Septum) abgefüllt werden. Diese haben sich jedoch bei der Bodenluft-Untersuchung nicht bewährt. Kommen andere Gassammelbehälter oder Verfahren zum Einsatz, ist deren Eignung nachzuweisen.

### 6.2.5 Adsorptionsröhrchen

Adsorptionsröhrchen bestehen aus Glas, sind üblicherweise etwa 10 cm lang und haben einen Außendurchmesser von etwa 0,5 cm. I. d. R. wird als Adsorbens Aktivkohle verwendet (A-Kohle-Röhrchen). Manche Röhrchen sind mittels einer Fritte in zwei Kompartimente unterteilt. Dann stellt das wesentlich größere, stromauf angeordnete Kompartiment mit der Hauptmenge des Adsorbens den eigentlichen Adsorber dar. Das wesentlich kleinere Kompartiment dient als Durchbruchindikator. Folgerichtig sollte das Adsorbens aus den verschiedenen Kompartimenten im Labor getrennt analysiert werden. Findet sich im Durchbruchindikator kein Schadstoff, kann davon ausgegangen werden, dass die im Probegas enthaltenen Schadstoffe vollständig adsorbiert wurden.



### 6.3 Vorgehensweise bei der Bodenluftentnahme

Bei der Probenahme von Bodenluft unterscheidet man die üblicherweise eingesetzten integrierenden Verfahren, bei denen das Gas der Entnahmesonde aus einem größeren, gegen die Atmosphäre abgedichteten Hohlvolumen zufließt, von den nur noch bei speziellen Fragestellungen angewendeten punktuellen Verfahren, bei denen die Bodenluft von einer eng begrenzten Stelle stammt. Die Ergebnisse integrierender und punktueller Bodenluft-Probenahmeverfahren sind aufgrund der unterschiedlichen Betrachtungsvolumina nicht vergleichbar.

Für die Entnahme von Bodenluftproben sind folgende Geräte erforderlich:

- Entnahmesonde
- Absaugvorrichtung mit regelbarem Volumenstrom
- Volumenstrommessgerät
- Zeitmessgerät oder Gas(volumen)zähler
- Gassammelbehältnisse bzw. Adsorber
- Geräte für die Messung der Sauerstoff-, Kohlenstoffdioxid-, Methan- und Schwefelwasserstoffkonzentrationen

In der Praxis können die Verfahrensschritte Errichtung der Messstelle, Förderung der Bodenluft, Sammlung/Fixierung der Schadstoffe sowie Messung der Permanentgase vielfältig ausgestaltet sein. Bei unterschiedlichen Entnahmeverfahren sind die Ergebnisse unter Umständen nicht miteinander vergleichbar. Dies ist bei vergleichenden Betrachtungen von Schadstoffbefunden (z. B. zeitlich versetzte Probenahmen im Rahmen eines Monitorings) zu beachten.

Um eine möglichst einheitliche Vorgehensweise bei der Bodenluftprobenahme zu erreichen, sind bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen i. d. R. folgende Randbedingungen einzuhalten (Anwendung teilweise abhängig vom Entnahmeverfahren). Andernfalls sind die Bodenluftbefunde nicht reproduzierbar entnommen und daher nicht bewertbar.

- Bei temporären Messstellen sollte die Bodenluft am besten sofort, spätestens jedoch zwei Stunden nach Fertigstellung des Bohrlochs beprobt werden.
- Die Probenahmesysteme sind vor jeder Probenahme nach VDI 3865-2 auf Dichtigkeit zu prüfen (von der Ansaugöffnung der Sonde bis zur Ansaugöffnung der Pumpe). Diese Prüfung ist im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.
- Bodenluft-Probenahmesonden sollen vor dem Einsatz ausgeheizt werden (mindestens 40 °C). Idealerweise werden sie dabei mit sauberer Luft rückgespült.
- Die [Permanentgasdetektoren](#) haben die für die Bodenluft relevanten Messbereiche zuverlässig zu umfassen. Dies gilt insbesondere für die Kohlenstoffdioxiddetektoren, welche Konzentrationen ab 0,5 Vol.-% sicher erfassen müssen.
- Die Bodenluft wird mittels einer Pumpe über ein Sondensystem angesaugt, das in ein vorgebohrtes Sondierloch eingeführt und gegen dieses Bohrloch hermetisch abgedichtet wurde. Beim Anreicherungsverfahren ist die Pumpe während der Probenahme strömungskonstant zu betreiben. Um sicherzustellen, dass keine atmosphärische Luft die Bodenluftprobe beeinflusst, sind die Kohlenstoffdioxid- und die Sauerstoffkonzentration in der Bodenluft kontinuierlich zu [messen und im zeitlichen Verlauf zu dokumentieren](#).

Der Kohlenstoffdioxidgehalt der Bodenluft (etwa 1 bis 10 Vol.-%) ist aufgrund mikrobieller Abbauprozesse i. d. R. höher als in der Außenluft (etwa 0,04 Vol.-%). In seltenen Fällen ist der Kohlenstoffdioxidgehalt der Bodenluft im Vergleich zur Außenluftkonzentration nur gering erhöht. Ein Nachweis,

dass Bodenluft ohne signifikanten Außenlufteinfluss gefördert wird, ist dann nicht gegeben. Unter Umständen kann die Sauerstoffmessung ergänzende Hinweise geben.

- Die **Mindestprobenahmetiefe beträgt einen Meter** unterhalb der GOK. Auf einen ausreichenden Abstand zwischen Entnahmebereich und Grundwasseroberfläche ist zu achten. Bodenluft im Bereich des Kapillarsaums oberhalb der Grundwasseroberfläche zu beproben, ist nicht zielführend.
- Die Probenahmesonde ist gegen das Bohrloch hermetisch **abdichten** (z. B. mit Packer), um auszuschließen, dass atmosphärische Luft eindringt und die Probe verdünnt. Bei dem Einsatz von Packern, die zum Schutz vor mechanischer Beschädigung mit anderem Material umhüllt sind, können Undichtigkeiten auftreten oder Schadstoffe verschleppt werden. Um Veränderungen der Proben auszuschließen, sollen solche Materialien vorab auf Blindwertfreiheit überprüft und regelmäßig ausgetauscht werden.
- Der **Absaugunterdruck** ist kontinuierlich zu messen und aufzuzeichnen. Unmittelbar vor der Probenahme mit Gassammelbehältern (Direktverfahren) hat der Druck in der Sonde dem Umgebungsdruck zu entsprechen.
- Die **Durchflussrate** ist unter Berücksichtigung der Geräteeigenschaften den Untergrundverhältnissen anzupassen und möglichst klein und konstant bei gleichbleibendem Unterdruck zu halten (0,1 l/min bis maximal 1,0 l/min).
- Die Bodenluftprobenahme ist vorzunehmen, **sobald die maximale Kohlenstoffdioxidkonzentration** im Messgas angezeigt wird. Werden substratbedingt nur Werte im Bereich der Atmosphärenkonzentration gemessen, ist das Maximum als Indikator für den Probenahmezeitpunkt nicht zielführend. Ggf. ist dies zu dokumentieren und alternativ mindestens das doppelte Totvolumen der Sonde (bzw. Volumen des Bohrlochs) vor der Probenahme auszutauschen. Wird das Kohlenstoffdioxidmaximum auffallend schnell erreicht, sollte auf Zutritt von Außenluft über Undichtigkeiten (z. B. Dichtkegel oder Packer) geprüft werden.
- Um mögliche Kondensationseffekte an der Innenwand, z. B. der Probengefäße und der Schläuche, zu vermeiden, sollte die **Außenlufttemperatur zum Probenahmezeitpunkt über der Bodenlufttemperatur liegen**. Bodenluftproben, die bei Außenlufttemperaturen unter 5 °C entnommen wurden, erlauben wegen wahrscheinlicher Minderbefunde keine belastbaren Aussagen.
- Nach starken und/oder andauernden **Niederschlägen** sowie nach Überschwemmungen kann es infolge von Sickerwasserfronten zu Schadstoffminderbefunden kommen. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Wahl des Probenahmezeitraumes und die Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen.
- Unmittelbar vor der Probenahme mittels Gasspritze oder durch Direktanschluss evakuierter Gefäße ist die Pumpe vom Entnahmesystem zu trennen.
- Adsorberröhrchen sind in Fließrichtung vor die Pumpe zu schalten. Röhrchen mit einer Adsorptions- und einer Durchbruchindikatorschicht sind so einzubauen, dass das Gas zuerst durch die Adsorptionsschicht fließt.
- Die Bodenluftkonzentrationen sind auf Standardbedingungen (20 °C, 1013 mbar) umzurechnen. Dies setzt die Erfassung und Dokumentation der klimatischen Bedingungen während der Probenahme voraus.
- Die Sonde ist vor der Wiederverwendung (von Messpunkt zu Messpunkt) idealerweise durch **Rückspülen mit Heißluft** zu dekontaminieren.
- Verbindungsschläuche und Leitungen von der Sonde zur Entnahmestelle und/oder zum Adsorptionsmittel sind möglichst kurz zu halten und häufig zu erneuern. Im Zustrom zu der Stelle des Probenahmesystems, wo die Probe entnommen wird, sind **Silikonschläuche unzulässig**.

- Zur Prüfung auf Kontaminationsfreiheit ist zwischen einzelnen Probenahmen, mindestens jedoch **eine Blindprobe je Probenahmekampagne** zu nehmen und auf die relevanten Kontaminanten zu analysieren. Empfehlenswert sind Proben sauberer Außenluft, die über das gesamte Probenahmesystem eingesaugt wurden. Die Vorgehensweise sowie die Analyseergebnisse sind zu dokumentieren.
- Ist eine Bodenluftprobenahme durch Abpumpen der Bodenluft aufgrund der Untergrundverhältnisse (bindige Böden) nicht möglich, kann der Einsatz von Verfahren zur Kleinmengenentnahme (z. B. **Neumayer-Verfahren**) zielführend sein. Die vorgenannten Anforderungen zu Permanentgasmessung, Förderraten und Unterdruck sind dann prinzipbedingt nicht anwendbar.
- Probenahmegeräte und -gefäße dürfen nicht in Räumen gelagert oder in Fahrzeugbereichen transportiert werden, in denen Lösemittel oder Kraftstoffe aufbewahrt werden.
- Wird von der beschriebenen Vorgehensweise im Einzelfall abgewichen, ist dies im Vorfeld mit der zuständigen Fachbehörde abzustimmen.
- Bodenluftproben dürfen nicht gekühlt werden.

Bezogen auf den Entnahmeprozess werden Direktverfahren von Anreicherungsverfahren unterschieden.

### 6.3.1 Direktverfahren

Beim Direktverfahren wird die Bodenluft direkt in ein Gassammelgefäß (Minican, Headspace-Gläschen) abgefüllt oder einem Gaschromatografen direkt zur Analyse zugeführt (Vor-Ort-Analytik; siehe auch Direct-Push-Verfahren in Kap. 7). Die Direktmessung vor Ort bietet die Vorteile, dass die Ergebnisse sofort vorliegen, die Anzahl der Proben, die ins Labor transportiert werden müssen, deutlich reduziert und eine Veränderung des Messgases weitgehend ausgeschlossen werden kann. Der apparative Aufwand vor Ort ist jedoch deutlich höher als bei der herkömmlichen Probenahme, was zu höheren Kosten führt.

Nachfolgend wird die Probenahme durch Abfüllen in Behälter am Beispiel von Headspace-Gläschen sowie Minicans erläutert. Kommen andere Gassammelbehälter oder Verfahren zum Einsatz, ist deren Gleichwertigkeit nachzuweisen:

- **Abfüllen von Bodenluftproben in Headspace-Gläschen**

Für die Entnahme der Bodenluft aus der Bodenluftsonde ist eine **gasdichte**, ausgeheizte, geschliffene Glasspritze (Mindestvolumen 35 ml) mit ml-Skalierung zu verwenden. Einmal-Kunststoffspritzen sind auch akzeptabel. Sie dürfen jedoch nicht mehrfach verwendet werden.

Die in dem mittels eines PTFE-kaschierten Butylkautschuk-Septums verschlossenen Headspace-Gläschen enthaltene Umgebungsluft kann entweder durch Spülung oder durch Evakuierung entfernt werden.

Beim **Spülverfahren** wird das Septum mit zwei Kanülen durchstoßen. Eine Kanüle dient als Austrittsöffnung. Über die andere Kanüle wird mittels einer angeschlossenen Gasspritze Bodenluft eingerückt. Es wird empfohlen, das Fünffache des Headspace-Gläschenvolumens mit Bodenluft auszutauschen, vor dem sechsten Befüllvorgang die Austrittskanüle zu entfernen und das Behältnis auf Druck zu füllen. Der Spülvorgang sowie das Spritzen- und Gefäßvolumen sind zu dokumentieren.

Alternativ ist das Headspace-Gläschen vor Ort zu **evakuieren** und dies zu dokumentieren. Laborseitig evakuierte Headspace-Gläschen werden nicht empfohlen. Durch das Vakuum wird die Bodenluft nach Durchstechen des Septums selbsttätig aus der Spritze in das Headspace-Gläschen gesaugt. Das angesaugte Volumen sowie das Volumen des Headspace-Gläschens sind zu dokumentieren. Auf Basis dieser Volumina ist aus dem Analyseergebnis die Konzentration der Analyte in der beprobten Bodenluft zu berechnen.

Bodenluftproben aus Headspacegläsern sind **spätestens am Tag nach der Probenahme zu analysieren**.

- **Abfüllen von Bodenluftproben in Minicans**

Vor der Probenahme ist zu prüfen, ob die verwendeten Ventile dicht geschlossen werden können. Mittels eines geeigneten Manometers muss überprüft und **dokumentiert** werden, dass der Unterdruck in diesem Aluminium-Sammelgefäß noch ausreicht. Bei einem Restdruck von  $< 50$  mbar (absolut) ist das typischerweise gewährleistet. Minicans, die den maximal zulässigen Restdruck von 80 mbar (absolut) überschreiten, dürfen nicht eingesetzt werden. Es ist sicherzustellen, dass das Sammelgefäß vollständig befüllt wird (Druckkontrolle bei und nach der Befüllung, Fülldauer mindestens zwei Minuten). **Die Bodenluftproben sind nach der Probenahme innerhalb von fünf Tagen zu analysieren.** Im Labor muss die Bodenluft nach Temperierung der Minican ( $> 40$  °C) unverdünnt in den Gaschromatografen überführt werden. Nicht empfehlenswert ist es, Bodenluftproben in andere Gefäße (z. B. Headspace-Gläschen) umzufüllen, da dabei Analytverluste auftreten können oder das Probegas verdünnt werden kann. Sollen Proben dennoch umgefüllt werden, ist die Vorgehensweise vorab detailliert in einer Standardarbeitsanweisung zu beschreiben. Die Methode ist vor dem Routineeinsatz zu validieren. Die Messergebnisse dieser Validierung sind zu dokumentieren.

**Weiterhin ist zu beachten:**

Um durch Material, Transport oder Lagerung hervorgerufene Kontaminationen erkennen zu können, ist zwischen einzelnen Probenahmen, mindestens jedoch eine **Blindprobe** je Probenahmekampagne zu entnehmen. Sinnvollerweise wird eine Gesamtblindprobe durch Ansaugen reiner Umgebungsluft über die gesamte Probenahmegerätschaft gewonnen und auf die relevanten Kontaminanten analysiert. Das Ergebnis dieser Blindwertbestimmung ist im Analysenbericht aufzuführen. Werden Headspace-Gläschen genutzt, ist das Septum eines weiteren, leeren Probengefäßes zu Beginn der Probenahmekampagne zu durchstechen und ungefüllt gemeinsam mit den Proben zu transportieren und zu lagern und anschließend mit den anderen Proben zu analysieren, wenn in der Gesamtblindprobe Blindwerte festgestellt wurden.

Glasspritzen sind nach jeder Probenahme durch Ausheizen zu reinigen. Um Querkontaminationen beim Wechsel von Spritzen und Probenröhrchen zu vermeiden, hat der Wechsel in kontaminationsfreier Umgebungsluft zu erfolgen, sofern keine Einwegspritzen verwendet werden.

### **6.3.2 Anreicherungsverfahren**

Beim Anreicherungsverfahren werden mehrere Liter Bodenluft durch ein Adsorptionsröhrchen gesaugt, wobei bestimmte Spureninhaltsstoffe adsorbiert werden. Die Adsorptionsröhrchen sind in Abhängigkeit von den spezifischen Eigenschaften der Schadgase oder den Anforderungen an das Messergebnis mit geeigneten Adsorptionsmitteln gefüllt. Aus **Vergleichbarkeitsgründen** sollen ausschließlich Aktivkohleröhrchen zum Einsatz kommen. Werden andere Adsorbentmaterialien verwendet, ist deren Gleichwertigkeit nachzuweisen. Bei Verwendung von Aktivkohleröhrchen ist bei besonders leichtflüchtigen Verbindungen (z. B. Vinylchlorid, FCKW) aufgrund unvollständiger Adsorption mit Minderbefunden zu rechnen. Zur Prüfung auf vollständige Adsorption sollte eine Durchbruchkontrolle (z. B. Analyse einer Indikatorschicht (siehe oben) oder eines zweiten Adsorptionsröhrchens in Reihe) durchgeführt werden.

Die Adsorptionsröhrchen werden erst zur Probenahme in das Entnahmesystem eingebunden, z. B. durch Umlegen zweier 3-Wege-Hähne. Im Labor werden die Schadstoffe mit geeigneten Lösemitteln (oder durch Thermodesorption) vom Adsorbens desorbiert und in den Extrakten (oder direkt) gaschromatografisch bestimmt.

Der Vorteil der Anreicherungsverfahren liegt in der niedrigeren Nachweisgrenze verglichen mit dem Direktverfahren. Nachteilig ist, dass eine vollständige Adsorption wie auch Desorption sämtlicher Analyte angezweifelt werden kann, sofern nicht Kohlenstoffdisulfid als Extraktionsmittel verwendet wird.

Bei der Probengewinnung ist Folgendes zu beachten:

Für die Probenanreicherungen an Adsorptionsröhrchen ist i. d. R. ein Probenahmenvolumen von fünf Litern bei einer Saugrate von maximal 1 l/min empfehlenswert.

- Es sollen **Aktivkohleröhrchen mit Durchbruchindikatorzone** verwendet werden. Typ und Hersteller sind zu dokumentieren.
- Bei der Probenahme mit Adsorptionsröhrchen sind bei Verdacht auf hohe Schadstoffkonzentrationen zwei Röhrchen in Serie zu schalten, um Durchbrüche sicher ausschließen zu können. Vor allem bei besonders leichtflüchtigen Verbindungen (z. B. Vinylchlorid, FCKW) und hoher Feuchtigkeit der Bodenluft, aber auch beim Überschreiten der Kapazität des Adsorbers (Überladung), kann die Adsorption unvollständig sein. Das Labor soll die nachgeschalteten Adsorptionsröhrchen, insbesondere bei hohen Konzentrationen im vorgeschalteten Adsorptionsröhrchen, auf eventuelle Durchbrüche prüfen. Ist kein Durchbruch bei der Probe mit den höchsten Konzentrationen feststellbar, kann auf die Analyse weiterer nachgeschalteter Röhrchen bei den anderen Proben verzichtet werden.
- **Verbindungsschläuche und Leitungen** stromaufwärts vom Adsorptionsröhrchen müssen aus adsorptionsarmen Materialien bestehen (PTFE, PE, PP, Viton™). Sie sind möglichst kurz zu halten und regelmäßig nach jeder Probenahmekampagne oder vor Untersuchungen auf einem neuen Standort zu ersetzen.
- Zur Feststellung eventueller Querkontaminationen der Adsorptionsröhrchen bei Probenahme, Transport und Lagerung sind in jedem Fall **Blindproben** zu untersuchen, d. h. nicht mit Bodenluft beaufschlagte geöffnete Adsorptionsröhrchen. Die Blindproben-Röhrchen werden mit den beladenen Adsorptionsröhrchen zum und vom Probenahmeort transportiert und unter denselben Bedingungen gelagert. Am Probenahmeort werden sie in das Probenahmesystem eingebunden und mit demselben Volumen reiner Umgebungsluft durchströmt, das auch zur Beladung der anderen Adsorptionsröhrchen verwendet wird. Umgekehrt lassen sich Verluste bei der Lagerung und dem Transport durch dotierte Adsorptionsröhrchen mit bekannter Beladung erkennen. Die Ergebnisse sind Bestandteil der Dokumentation.
- Der Schadstoffgehalt beladener Aktivkohleröhrchen ist innerhalb **von fünf Tagen nach der Probenahme zu bestimmen**.

### 6.3.3 Passive Entnahmeverfahren

Neben den beschriebenen Anreicherungsverfahren mit aktiver Bodenluftabsaugung existieren als Varianten der Anreicherungsverfahren passive Bodenluftmesssysteme (z. B. Gore-Sorber®-Verfahren). Hierbei wird eine definierte Menge Adsorbens in einer gasdurchlässigen Hülle in den Boden eingebracht und über eine bestimmte Zeit dort belassen. Das Adsorbens nimmt die Schadstoffe aus der Bodenluft auf, bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat. Die Lage dieses Gleichgewichts ist jedoch von zahlreichen Einflüssen (z. B. Bodenbeschaffenheit, Gaskonzentrationen, Temperatur) abhängig.

Die Schadstoffgehalte werden i. d. R. gaschromatografisch nach Elution oder nach Thermodesorption vom Adsorbens bestimmt. Sie werden meist in Milligramm Schadstoff pro Gramm Adsorbens und Zeiteinheit angegeben. Die Schadstoffgehalte sind nicht mit den Hilfwerten in Tab. 4 im Anhang 2 im Merkblatt 3.8/1 vergleichbar. Da die Gleichgewichtslage vom Adsorbentmaterial abhängig ist, können unterschiedliche Adsorbentmaterialien in der gleichen Bodenmatrix durchaus unterschiedliche Ergebnisse liefern. Derartige Bodenluftmesssysteme sind nur für qualitative Aussagen oder als Screening-Verfahren zum Aufspüren von Konzentrationsschwerpunkten geeignet.

## 6.4 Dokumentation und Probenahmeprotokoll

Da die äußeren Bedingungen die Ergebnisse von Bodenluftproben stark beeinflussen und zudem größeren Schwankungen unterliegen können, sind die relevanten Daten für jede Probenahme separat zu protokollieren.

Die Dokumentation der Bodenluftentnahme hat neben den bereits erwähnten verfahrensspezifischen Informationen folgende Angaben zu enthalten (siehe auch Muster-Probenahmeprotokoll im Anhang 4):

- Grundsätzlich ist für jede Bodenluftmessstelle das Bodenprofil aufzunehmen und entsprechend der Kurz-KA 5 (2009) bzw. auf Grundlage der Normen für geotechnische Erkundung (DIN EN ISO 22475-1; DIN EN ISO 14688-1; DIN EN ISO 14689) unter Einbeziehung mindestens der obligatorischen Parameter der Kurz-KA 5 (2009) zu beschreiben. Die Profilaufnahme (Schichtenverzeichnis) ist dem Bodenluftprobenahmeprotokoll beizulegen.
- Bei stationären Bodenluftmessstellen ist dem Probenahmeprotokoll zusätzlich der Ausbauplan beizulegen.
- Die **Standortbeschreibung** und die Bezeichnung der **Entnahmestelle** hat entsprechend Kap. 5.5 für die Entnahme von Bodenproben zu erfolgen. Zusätzlich beinhaltet die **Aufnahmesituation** neben der Beschreibung der vorgefundenen örtlichen Verhältnisse zum Zeitpunkt der Probenahme (Witterung, Flächennutzung, Vegetation, Versiegelung) auch die Angaben zu Luftdruck, Bohrlochtemperatur, Außenlufttemperatur und Luftfeuchte. Die zeitvariablen Daten sind am Untersuchungsstandort vor und während jeder Probenahme zu erheben und mit der entsprechenden Uhrzeit zu protokollieren. Zusätzlich ist die Niederschlagsituation für den Untersuchungsstandort für die letzten fünf Tage zu ermitteln und zu dokumentieren (Sickerwasserfronten!), da nach starken Niederschlagsereignissen mit relativ verminderten Bodenluftkonzentrationen zu rechnen ist.
- Das verwendete **Bohrverfahren** (mit Angaben zu Bohrwerkzeugen, Gerätetypen, Sonden- und Bohrl Lochdurchmesser, Totvolumen der verwendeten Sonden, Bohr- und Entnahmetiefen, Bohrlochausbau und -abdichtung, Einsatz kraftstoffbetriebener Geräte) ist zu dokumentieren.
- Angaben zu Volumenstrom, Durchflussrate und -menge, Unterdruck, Absaugdauer, Entnahmevermögen und **zeitlicher Verlauf** der Permanentgase sind ebenfalls ins Probenahmeprotokoll aufzunehmen. Eventuelle Besonderheiten und Beobachtungen während der Probenahme wie z. B. Nässe an der Sondenspitze oder Bohrhindernisse sind festzuhalten.
- Die Art der **Probensammlung** (Gassammelgefäß, Adsorptionsröhrchen, Direktmessung) ist anzugeben, die Bedingungen der **Probenlagerung und des -transports** sind zu dokumentieren. Werden **Vor-Ort-Messungen** durchgeführt, sind diese ebenfalls zu beschreiben und die Ergebnisse zu dokumentieren.

Bodenluftmesswerte können nur dann reproduziert und bewertet werden, wenn ein vollständiges Probenahmeprotokoll vorliegt.

## 7 Direct-Push-Verfahren

### 7.1 Definition, Verfahren und Anwendungsbereiche

Unter dem Begriff „Direct-Push-Verfahren“ (DP-Verfahren) werden Technologien verstanden, mit deren Hilfe man Boden, Bodenluft und Grundwasser entnehmen, sowie darüber hinaus geologische, geophysikalische und chemische Daten in-situ erheben kann (USEPA 2016). Die Verfahren werden wegen geringer Sondendurchmesser (übliche Durchmesser für Sonden bzw. das Gestänge betragen zwischen 35 mm bis maximal 80 mm) als minimal invasiv bezeichnet.

DP-Verfahren wurden entwickelt, um Undergroundkontaminationen im Vergleich zu konventionellen Verfahren (z. B. Rammkernsondierungen) umfassender und schneller untersuchen zu können. Sie erlauben zum einen, die Untergrund- und Schadenssituation besser räumlich zu erkunden. Da die DP-Sondierungsergebnisse im Normalfall direkt (on-line) mitverfolgt werden können, besteht zum anderen die Möglichkeit, entsprechend der fortlaufend anfallenden Feldbefunde z. B. der schadstoffdetektierenden Sonden, das vorliegende Untersuchungskonzept schneller an die aktuelle Erkenntnislage anzupassen und somit den Untersuchungsprozess zu optimieren. DP-Verfahren können konventionelle Probenahmeverfahren aufgrund der oftmals geringeren Repräsentativität nicht vollständig ersetzen. Sie können zusätzliche Daten und Erkenntnisse liefern, die wesentlich zu einem optimierten Einsatz konventioneller Probenahmeverfahren und dem Erreichen des Untersuchungsziels beitragen.

Der Hauptanwendungsbereich von DP-Verfahren in der Altlastenuntersuchung ist die **Informationsverdichtung im Rahmen von Detail- und Sanierungsuntersuchungen**. Die hierfür in der Fachliteratur diskutierten Technologien sind in sehr unterschiedlicher Weise auf dem Markt etabliert. Einige Technologien sind noch im Entwicklungsstadium. Übertragbare Erfahrungen, z. B. basierend auf Vergleichsmessungen, sind für wenige Technologien vorhanden. In Dietrich & Leven (2006), Gerstner et al. (2006), LUA (2004), Leven et al. (2010) und UBA-Ö (2016) wird ein informativer Überblick über gängige DP-Verfahren sowie deren Vor- und Nachteile gegeben. Werner et al. (2008), Grandel & Dahmke (2008), Wabbels & Teutsch (2008) und das Merkblatt 3.8/3 geben Handlungsempfehlungen für die Anwendung von DP-Verfahren im Zusammenhang mit der Untersuchung von Natural Attenuation-Prozessen.

In den folgenden Kap. 7.2 und 7.3 wird auf die am häufigsten eingesetzten Sondentypen eingegangen. Einige dieser Sonden sowie ggf. weitere Sondentypen können sinnvoll kombiniert werden. Die Wahl der einzusetzenden Sonden ist im Einzelfall zu treffen. Im Merkblatt 3.8/6 finden sich weitere DP-Verfahren zur Bestimmung hydraulischer Parameter oder zur Messung speziell im Grundwasser sowie zur Entnahme von Grundwasserproben.

DP-Verfahren können nach der Art des Vortriebs eingeteilt werden. Grundsätzlich wird zwischen statischem und dynamischem Vortrieb unterschieden. Auch Kombinationen aus den beiden Vortriebsarten sind möglich.

Beim **statischen Vortrieb** wird das Bohrgestänge über hydraulische Druckvorrichtungen gleichmäßig in den Untergrund gedrückt. Die Druckvorrichtungen können auf Fahrzeugen fixiert sein, wobei hierbei das Fahrzeuggewicht zusätzlich auf das Gestänge wirkt, oder fahrzeugunabhängig im Gelände verankert sein.

Der **dynamische Vortrieb** erfolgt vibrierend oder schlagend. Hierbei kommen Handbohrhämmer, manuelle und fahrzeugfixierte Hämmer oder größeres, konventionelles Bohrgerät zur Anwendung.

Die erreichbaren Endteufen unterscheiden sich zum Teil erheblich. Sie reichen von wenigen Metern bei handgesteuerten Bohrhämmern bis zu einigen Zehner Metern bei den statischen Verfahren. Die Anwendung einiger Sonden (z. B. Cone Penetration Test Sonden (CPT-Sonden, siehe Kap. 7.2)) ist nur mit statischem Vortrieb möglich.

## 7.2 Sonden zur beprobungslosen Untersuchung

Zur beprobungslosen Untersuchung des Untergrundes werden geotechnische und schadstoffdetektierende Sonden eingesetzt. In Kombination ermöglichen sie die Untersuchung der Verteilung der Schadstoffe in Bezug zum Aufbau des Untergrundes (ungesättigte und gesättigte Zone).

Zur Untersuchung **geotechnischer Parameter** kommen folgende Sonden zum Einsatz:

- Lithostatische Sonden („Cone Penetration Test“ (CPT)-Sonden) zur Ermittlung von Mantelreibung und Spitzendruck bzw. Reibungsverhältnissen
- Leitfähigkeitssonden zur Ermittlung der elektrischen Gesteinsleitfähigkeit
- Soil Moisture Probes (SMP-Sonden) zur Abschätzung des Wassergehalts in der ungesättigten und der Porosität in der gesättigten Zone
- seismische Sonden vor allem zur Bestimmung von Sedimenttypen
- Gammasonden (gamma-ray-log, gamma-gamma-log, neutron-gamma-log) zur Bestimmung von Tongehalt, Wassergehalt, Gesteinsdichte, chemischer Zusammensetzung etc. durch natürliche oder induzierte (Gamma-)Strahlung

Darüber hinaus kommen weitere Sonden zum Einsatz, mit deren Hilfe hydraulische Untergrundparameter auch in der ungesättigten Zone bestimmt werden können (z. B. Direct Push Injection Logging Sonde (DPIL-Sonde), siehe Merkblatt 3.8/6).

Die gebräuchlichsten **schadstoffdetektierenden Sonden** sind die Membrane Interface Probe Sonde (MIP-Sonde), die Laser Induced Fluorescence Sonde (LIF-Sonde) und die Röntgen-Fluoreszenz Sonde (XRF-Sonde), die im Folgenden näher beschrieben werden. Mithilfe von schadstoffdetektierenden Sonden ermittelte Schadstoffgehalte sind nicht mit Beurteilungswerten (z. B. Maßnahmenwerte der BBodSchV) vergleichbar.

**MIP-Sonden** werden für den Nachweis von leicht- bis mittelflüchtigen Stoffen (BTEX, LHKW, niedrigsiedende MKW) eingesetzt. Bei diesem Verfahren werden die flüchtigen organischen Stoffe (VOC) in der Sondenumgebung durch einen Heizblock stark erhitzt (etwa 100 °C). Die VOC gehen in die Gasphase über und diffundieren über eine semipermeable Membran in das Sondeninnere. Von dort werden sie über ein Trägergassystem (Inertgasstrom aus Stickstoff oder Wasserstoff) durch das Sondiergestänge in einen Gaschromatografen überführt. Der Gaschromatograf ist mit einem oder mehreren Detektoren (wie Photoionisationsdetektor (PID), Flammenionisationsdetektor (FID) oder Dry Electrolytic Conductivity Detector (DELCD)) gekoppelt. Um die Tiefenzuordnung der Sensorsignale unter Berücksichtigung der Verzögerung durch den Transport des Gases von der Membran bis zum Detektor zu ermöglichen, sind die einzelnen Detektoren über Standards zu kalibrieren. Die Temperatur des Heizblocks ist zu dokumentieren. Eine zu hohe Temperatur kann zur Mobilisierung von Stoffen mit höheren Siedetemperaturen führen. Aufgrund des Aufbaus vieler MIP-Sonden (größerer Durchmesser der Sonde als Gestänge) kann es zu Schadstoffverschleppungen kommen. Zusätzlich kann aufgrund eines verzögerten Schadstoffdiffusionsprozesses durch die Membran ein „Verschmieren“ von Signalen auftreten. Deshalb sollte der Vortrieb nach Durchörterung von hochkontaminierten Bereichen unterbrochen und das System gespült werden.

**LIF-Sonden** sind optische Sonden, mit deren Hilfe Treibstoff-, Mineralöl- und Teerkontaminationen untersucht werden können. Über ein Lichtleiterkabel und ein Saphirfenster im Sondenmantel gelangt Laserlicht aus dem Sondierfahrzeug in den Untergrund. Hier werden die in den Stoffgemischen enthaltenen aromatischen Schadstoffe in der Sondenumgebung zur Fluoreszenz angeregt. Die emittierte Fluoreszenzstrahlung wird von der Sonde detektiert. Es sind mehrere Sensoren verfügbar, die Licht unterschiedlicher Wellenlängen detektieren. Die gemessene Summenfluoreszenz kann spektral aufgelöst und in definierten Wellenlängenbereichen quantifiziert werden. Aus der Intensität in diesen Wellenlängenbereichen kann die Verteilung einzelner Schadstoffgruppen im Untergrund abgeleitet werden. Die Sensoren



müssen vor der Messung mit Standards definierten Aromatengehalts kalibriert werden. Das Messergebnis wird stark vom geologischen Untergrundaufbau beeinflusst.

**XRF-Sonden** (auch RFA-Sonden) werden eingesetzt, um auf anorganische Parameter zu untersuchen. Dabei werden chemische Elemente mittels Röntgenstrahlung zur Fluoreszenz angeregt. Die dadurch emittierte elementspezifische Fluoreszenzröntgenstrahlung wird anschließend detektiert. Die Detektionssonden liefern qualitative bis semiquantitative Ergebnisse im Hinblick auf den Schadstoffgehalt aus der ungesättigten und gesättigten Zone. Dabei kommt es zu verschiedenen Überlagerungs- und Verstärkungseffekten. Das Verfahren sollte vor der Anwendung anhand von Schadstoffstandards und von Untersuchungen an Bohrkernen aus den gleichen Sedimenten kalibriert werden. Das Messergebnis wird stark durch Wassergehalte von über 20 % und daneben durch den Untergrundaufbau beeinflusst.

### 7.3 Sonden zur Entnahme von Boden- und Bodenluftproben

Zur Entnahme von Bodenproben mittels DP-Technologie wird ein hohles Probenahmerohr, meist im dynamischen Vortrieb, in den Untergrund eingetrieben (streng genommen ist die klassische Rammkernsondierung auch eine DP-Methode, auf die im Folgenden aber nicht weiter eingegangen wird). Um die Bohrlochstabilität zu gewährleisten und Verschleppungen von Schadstoffen zu vermeiden, kommen auch verrohrte Probenahmesysteme zum Einsatz. Dieses DP-Verfahren eignet sich zur Entnahme von Bodenproben im ungesättigten und gesättigten Bereich. Es können tiefenspezifische Einzelproben entnommen werden oder eine kontinuierliche Beprobung bis in die geplante Tiefe erfolgen. Hierbei ist zu beachten, dass aufgrund des kleineren Sondendurchmessers gegenüber konventionellen Bohrungen nur geringere Feststoffmengen zur Verfügung stehen. Dies kann sich auf die Repräsentativität der Proben negativ auswirken, ebenso wie Verdrängungseffekte in grobkörnigem Boden, Stauchungen und Verschleppungen an den Wandungen des Probenahmerohrs. Die Repräsentativität von Proben, die mittels DP-Verfahren gewonnen wurden, ist daher kritisch zu hinterfragen. Außerdem ist die Anwendung i. d. R. auf die Bodenarten Ton bis Mittelkies ohne Grobbestandteile begrenzt.

Zur Entnahme von **Bodenluft** wird eine Sonde mit Außengestänge in den Untergrund bis zur gewünschten Tiefe vorgetrieben. Dann wird das Außengestänge ein kleines Stück nach oben zurückgezogen, so dass Bodenluft durch einen darunterliegenden Filter angesaugt werden kann. Mithilfe dieser Methode können Bodenluftdaten hinsichtlich der Verteilung und Konzentration von VOC im Boden und Grundwasser ermittelt werden.

### 7.4 Vorgehensweise bei der Standortuntersuchung mit DP-Verfahren

Um die DP-Verfahren fachlich zielführend und kostensparend einzusetzen, sind eine umfassende Untersuchungsstrategie sowie eine detaillierte Planung entscheidend. Folgende Vorgehensweisen/Eckpunkte werden empfohlen:

- Alle Planungen und Geländearbeiten sind eng mit der zuständigen Fachbehörde abzustimmen.
- Das **Schadstoffspektrum** des zu erkundenden Schadens muss ausreichend bekannt sein, unter anderem, um die für die Untersuchungen geeignete Detektionssonde oder Sondenkombination vorab auswählen zu können.
- Häufig ist die Lage der **Grundwasseroberfläche** von Interesse, um ein Schadensszenario im Untergrund beschreiben zu können und die ermittelten Messsignale zu interpretieren. Nicht jede Sondenkombination erlaubt dazu eindeutige Aussagen. Diese Eignung sollte mit der Verfahrensanbieterin bzw. dem Verfahrensanbieter erörtert werden.
- Der **geologische Untergrund** (Substrateigenschaften aus der Geländeansprache, Schichtenabfolge), die **hydrogeologischen Verhältnisse** (Grundwasserflurabstand, Permeabilität der Schichten (zumindest geschätzt)), sowie – wenn möglich – geotechnische Parameter wie Lagerungsdichte und Bohrverhalten während früherer Bohraufschlüsse sind zu beschreiben und aufzulisten. Diese Daten sind

der Verfahrensanbieterin bzw. dem Verfahrensanbieter vor Auftragsvergabe im Hinblick auf die Bewertung der Einsetzbarkeit der Technologie zur Verfügung zu stellen. Es ist zu berücksichtigen, dass DP-Technologien i. d. R. nur im Lockergestein zur Anwendung kommen. Die Verfahren sind nur eingeschränkt bzw. nicht einsetzbar in kiesigen Sedimenten, bei Anwesenheit von Steinen im Untergrund oder in Festgesteinen. Auch stark bindige Schichten sind unter Umständen schwierig bis nicht erbohrbar.

- Die **Befahrbarkeit** des Untersuchungsgeländes ist im Hinblick auf die Auswahl des Bohrgerätes und den Geräteeinsatz abzuklären.
- Eine **Arbeitshypothese** zum Schadensbild (z. B. Lage des Schadenszentrums und Schadstoffausbreitung im Untergrund) ist entsprechend dem jeweiligen Kenntnisstand auszuformulieren.
- Im Ergebnis dieser Vorarbeiten sind ein **Untersuchungsziel** sowie ein entsprechendes detailliertes **Untersuchungskonzept** (Auswahl des Bohrverfahrens und -fahrzeugs, Definition der einzusetzenden Sonden und Probenahmeverfahren, Anzahl und Lage von Bohransatzpunkten mit Ausweichmöglichkeiten, Untersuchungsteufen etc.) zu formulieren. Dies sollte vor Auftragsvergabe in enger Abstimmung mit der Anbieterin bzw. dem Anbieter des DP-Verfahrens erfolgen, um die technische Durchführbarkeit der Untersuchungen und die Erreichbarkeit des Untersuchungsziels abzuklären.
- Die DP-Untersuchung ist in allen Phasen durch Sachbearbeiterinnen bzw. Sachbearbeiter, die mit der DP-Technologie vertraut und erfahren sind, fachlich zu betreuen.

## 7.5 Qualitätssicherung und Dokumentation

### Einsatz schadstoffdetektierender Sonden

Der Einsatz der DP-Technologie dient i. d. R. dazu, im Sinne einer Informationsverdichtung die räumliche Verteilung von Schadstoffen im Untergrund zu untersuchen. Bezogen auf einen Sondierpunkt bedeutet dies, dass die vertikale Schadstoffverteilung erkennbar sein muss. Die obere und untere Verbreitungsgrenze der Schadstoffe muss daher sicher feststellbar sein. Signalverschleppungen (Tailingeffekte), wie sie beispielsweise beim Einsatz von MIP-Sonden auftreten können, sind durch entsprechende Maßnahmen zu verhindern.

### Boden- und Bodenluftprobenahme

Grundsätzlich sollte eine Mehrfachverwendung eines Sondierlochs vermieden werden. Ggf. ist das Sondierloch gegen Nachfall zu schützen und abzudecken.

Die Qualitätskriterien für eine Bodenprobenahme gemäß Kap. 5 und eine Bodenluftprobenahme gemäß Kap. 6 gelten auch für die im Rahmen von DP-Untersuchungen entnommenen Boden- und Bodenluftproben.

### Dokumentation

Für die Dokumentation von DP-Untersuchungen gelten folgende Eckpunkte:

- Alle Sondierpunkte sind hinsichtlich ihrer räumlichen Lage einzumessen.
- Mit schadstoffdetektierenden Sonden ermittelte Ergebnisse sind als Profile der Detektorsignale und der geotechnischen Signale grafisch darzustellen. Die Bereiche der Boden- und Bodenluftprobenahmen sind anzugeben.
- Alle Arbeiten zur Vorbereitung der Bodenluftprobenahme (z. B. die Messstellenentwicklung) und der gesamte Entnahmeprozess sind umfassend zu dokumentieren. Bodenluftprobenahmeprotokolle sind zu führen, deren Informationsgehalt mindestens dem in Anlage 4 aufgeführten Muster-Probenahmeprotokoll entspricht. Darüber hinaus sind alle Besonderheiten des Probenahmeverfahrens zu dokumentieren.

## 8 Literaturverzeichnis

Die angegebenen Merkblätter können im Internet unter [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de) heruntergeladen werden.

ArbSchG (1996): Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 31. Mai 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 140) geändert worden ist.

AwSV (2017): Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), die durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

BAUA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [Hrsg.] (2010): Technische Regel für Gefahrstoffe 524 "Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen" (GMBI 2010 Nr. 21 S. 419-450 vom 01. April 2010), zuletzt geändert und ergänzt durch GMBI 2011 S. 1018-1019 [Nr. 49-51].

BaustellV (1998): Baustellenverordnung vom 10. Juni 1998 (BGBl. I S. 1283), die zuletzt durch Artikel 27 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert worden ist.

BayBodSchVwV (2023): Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern (BayBodSchVwV) vom 04.09.2023 (BayMBI. 2023 Nr. 476 vom 04.10.2023).

BayWG, vom 25.02.2010 (2010): Bayerisches Wassergesetz (BayWG) vom 25. Februar 2010 (GVBl. S. 66, Ber. S. 130), das zuletzt durch § 1 des Gesetzes vom 09.11.2021 (GVBl. S. 608) geändert worden ist.

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17.03.1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 25.02.2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist.

BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).

BGB (2002): Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 31. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1966) geändert worden ist.

BioStoffV (2013): Biostoffverordnung vom 15. Juli 2013 (BGBl. I S. 2514), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 21. Juli 2021 (BGBl. I S. 3115) geändert worden ist.

DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. [Hrsg.] (2006): DGUV Regel 101-004, Kontaminierte Bereiche.

DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. [Hrsg.] (2019): DGUV Vorschrift 38, Bauarbeiten.

Dietrich, P.; Leven, C. (2006): Direct Push-Technologies, S. 321–340, In: Kirsch, R. [Hrsg.]: Groundwater geophysics, Berlin, Heidelberg, Springer.

DIN 4023:2023-02: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen.

DIN 4124:2012-01: Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten.

DIN 4220:2020-11: Bodenkundliche Standortbeurteilung - Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen).

DIN 18299:2016-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art.

DIN 18303:2016-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Verbauarbeiten.

DIN 19673:2013-04: Bodenbeschaffenheit - Zeichnerische Darstellung bodenkundlicher Untersuchungsergebnisse.

DIN 19698-5:2018-06: Untersuchung von Feststoffen - Probenahme von festen und stichfesten Materialien - Teil 5: Anleitung für die Beprobung von Hot-Spots in Grundmengen.

DIN 19738:2017-06: Bodenbeschaffenheit - Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial.

DIN 19747:2009-07: Untersuchung von Feststoffen - Probenvorbereitung, -vorbereitung und -aufarbeitung für chemische, biologische und physikalische Untersuchungen.

DIN 38407-43:2014-10: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 43: Bestimmung ausgewählter leichtflüchtiger organischer Verbindungen in Wasser - Verfahren mittels Gaschromatographie und Massenspektrometrie nach statischer Headspacetechnik (HS-GC-MS) (F 43).

DIN 38414-14:2011-08: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14).

DIN EN ISO 10301:1997-08: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe - Gaschromatographische Verfahren (ISO 10301:1997); Deutsche Fassung EN ISO 10301:1997.

DIN EN ISO 14688-1:2020-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14688-1:2018.

DIN EN ISO 14689:2018-05: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels (ISO 14689:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14689:2018.

DIN EN ISO 22155:2016-07: Bodenbeschaffenheit- Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether- Statisches Dampfraum-Verfahren (ISO 22155:2016), Deutsche Fassung EN ISO 22155:2016.

DIN EN ISO 22475-1:2022-02: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen für die Probenentnahme von Boden, Fels und Grundwasser (ISO 22475-1:2021); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2021.

DIN ISO 18400-101: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 101: Grundzüge der Vorbereitung und Anwendung eines Probenahmeplans (DIN ISO 18400-101:2020).

DIN ISO 18400-102:2020-11: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 102: Auswahl und Anwendung von Probenahmetechniken (ISO 18400-102:2017).

DIN ISO 18400-104:2020-11: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 104: Strategien (DIN ISO 18400-104:2020-11).

DIN ISO 18400-203:2020-11: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 203: Untersuchungen kontaminationsverdächtiger Flächen (DIN ISO 18400-203:2020-11).

DIN ISO 18512:2009-03: Bodenbeschaffenheit - Anleitung für die Lang- und Kurzzeitlagerung von Bodenproben (ISO 18512:2007).

Eckelmann, W.; Sponagel, H.; Sponagel, H. [Hrsg.] (2009): Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz - Auszug aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5, Mit 25 Tabellen, 1. Aufl. Stuttgart, Schweizerbart, 89 S.

- GefStoffV (2010): Gefahrstoffverordnung vom 26.11.2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 21. Juli 2021 (BGBl. I S. 3115) geändert worden ist.
- GeoIDG, vom 19.06.2020 (2020): Gesetz zur staatlichen geologischen Landesaufnahme sowie zur Übermittlung, Sicherung und öffentlichen Bereitstellung geologischer Daten und zur Zurverfügungstellung geologischer Daten zur Erfüllung öffentlicher Aufgaben (Geologiedatengesetz - GeoIDG) vom 19.06.2020 (BGBl. I S. 1387).
- Gerstner, D.; Scheytt, T.; Fälker, C. (2006): Untersuchungen von Altlasten – Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Direct-Push Technologien bei der Altlastenbearbeitung, Altlasten Spektrum, 6.
- Grandel, S.; Dahmke, A. (2008): Leitfaden Natürliche Schadstoffminderungsprozesse bei LCKW-kontaminierten Standorten - Methoden, Empfehlungen und Hinweise zur Untersuchung und Beurteilung, BMBF Förderschwerpunkt KORA, Themenverbund 3 - Chemische Industrie, Metallverarbeitung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- HLUG, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg.] (2000): Handbuch Altlasten Band 7, Teil 4, Bestimmung von BTEX/LHKW in Feststoffen aus dem Altlastenbereich.
- IABG (2001): Arbeitshilfe Orientierende und Detailuntersuchung von Rüstungsalblastverdachtsstandorten in Bayern.
- KrWG (2012): Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.
- LABO, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2002): Arbeitshilfe für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung.
- LABO, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2012): Fachmodul Boden und Altlasten.
- LABO, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2020): Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung, Wirkungspfad Boden-Mensch, Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch, (Länderfinanzierungsprogramm, Projekt-Nr. B 3.17).
- LAGA, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [Hrsg.] (2019): LAGA PN 98, Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen.
- Leven, C.; Weiß, H.; Koschitzky, H.-P.; Blum, P.; Ptak, T.; Dietrich, P. (2010): Direct-Push-Verfahren, Altlastenforum Baden-Württemberg, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (in Komm.), Stuttgart, Schriftenreihe Altlastenforum Baden-Württemberg e.V, Heft 15, 36 S.
- LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2019): Merkblatt 3.8/2, Hinweise zur Ausschreibung und Vergabe von Leistungen bei der Amtsermittlung.
- LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2020): Deponie - Info 5, FID-Messungen auf Deponien Konkretisierung der VDI 3860 Blatt 3.
- LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Arbeitshilfe zur Altlastenbearbeitung: Altlastenkataster "ABuDIS", Vorgaben zur Verwendung der Webanwendung ABuDIS.
- LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/1, Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden-Grundwasser.
- LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/3, Natürliche Schadstoffminderung bei Grundwasserverunreinigungen durch Altlasten und schädliche Bodenveränderungen - Monitored Natural Attenuation (MNA).

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/5, Untersuchung von Boden- und Bodenluftproben sowie Eluaten bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Grundwasser.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/6, Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden-Grundwasser.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/7, Historische Erkundung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/8, Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) und Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft.

LUA, Landesumweltamt Brandenburg [Hrsg.] (2004): Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg. Nationale und internationale Sachstandsrecherche, Praxiserprobte und innovative Direkt/in situ-Probennahmeverfahren für Grund-, Sickerwasser und Bodenluft im Rahmen der Altlastenbearbeitung.

UBA-Ö, Umweltbundesamt GmbH Österreich [Hrsg.] (2016): Quicksan Erkundungs- und Monitoringstechnologien, Quicksan über erfolgversprechende Verfahren zur Erkundung von kontaminierten Standorten, Report / Umweltbundesamt, REP-0570.

USEPA, US Environmental Protection Agency [Hrsg.] (2016): Expedited Site Assessment Tools For Underground Storage Tank Sites. A Guide For Regulators. Chapter V: Direct Push Technologies.

VDI 3860-1:2006-05: VDI 3860 Blatt 1:2006-05: Messen von Deponiegas - Grundlagen.

VDI 3860-3:2017-11: VDI 3860 Blatt 3:2017-11, Messen von Deponiegas - Messen von Methan an der Deponieoberfläche mittels Sauglockenverfahren.

VDI 3865-1:2005-06: VDI 3865 Blatt 1:2005-06, Messen organischer Bodenverunreinigungen - Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen.

VDI 3865-2:1998-01: VDI 3865 Blatt 2: 1998-01, Messen organischer Bodenverunreinigungen - Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben.

VSU (2001): Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbehandlung in Bayern (Sachverständigen- und Untersuchungsstellen-Verordnung – VSU) vom 03.12.2001 (GVBl. S. 938), die zuletzt durch Verordnung vom 16.10.2017 (GVBl. S. 508) geändert worden ist.

Wabbels, D.; Teutsch, G. (2008): Leitfaden Natürliche Schadstoffminderungsprozesse bei mineralölkontaminierten Standorten, BMBF-Förderschwerpunkt KORA, Themenverbund 1 - Raffinerien, Tanklager, Kraftstoffe/Mineralöl, MTBE, Eberhard Karls Universität Tübingen, Zentrum für Angewandte Geowissenschaften (ZAG), Tübingen, 222 S.

Werner, P.; Börke, P.; Hüsters, N. (2008): Leitfaden Natürliche Schadstoffminderung bei Teerölaltlasten, BMBF-Förderschwerpunkt KORA, Themenverbund 2 - Gaswerke, Kokereien, Teerverarbeitung, (Holz-) Imprägnierung, TU Dresden, Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft und Altlasten, Band 58, 270 S.

WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 12 des Gesetzes vom 20.07.2022 (BGBl. I S. 1237) geändert worden ist.

## Anhang 1: Checkliste zur Qualitätssicherung (Bodenprobenahme)

Checkliste zur Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen bei der Bodenprobenahme

	ja	nein	Bemerkungen
<b>1. Allgemeines</b>			
• Liegt eine schriftliche und vollständige Probenahmeplanung vor?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Sind sowohl Auftragnehmer/-in als auch etwaige Subunternehmer/-innen nach VSU zugelassen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>2. Sind folgende Punkte dokumentiert</b>			
• Ausreichende Begründung für vom Probenahmeplan abweichende Vorgehensweise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Wirkungspfad Boden-Wasser: Begründung für Mischproben-Bildung (nur kleinräumig)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Wirkungspfad Boden-Mensch: Anzahl der Einzelproben je Teilfläche und nutzungsabhängige Beprobungstiefe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Aufnahme des Schichtenprofils nach Kurz-KA 5 (2009) bzw. nach DIN EN ISO 14688-1, DIN EN ISO 14689 und DIN EN ISO 22475-1 unter Einbeziehung der Parameter der Kurz-KA 5 (2009)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Fotografische Dokumentation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Eingesetzte Geräte und Materialien zur Probenahme, z. B. Spatel aus Edelstahl (nicht lackiert)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Parameterspezifische Angabe der Art der Probengefäße einschließlich Verschlüsse und Dichtungen (bei organischen Stoffen Glasflaschen, Ausnahme: PFAS)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Konservierungsmaßnahmen, insbesondere Methanolüberschichtung vor Ort beim Vorliegen von leichtflüchtigen Stoffen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Transport-, Lagerzeiten/-bedingungen, Übergabeprotokoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**Anhang 2: Checkliste zur Qualitätssicherung (Bodenluftprobenahme)**

Checkliste zur Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen bei der Bodenluftprobenahme

	ja	nein	Bemerkungen
<b>1. Allgemeines</b>			
• Liegt eine schriftliche und vollständige Probenahmeplanung vor?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Sind sowohl Auftragnehmer/-in als auch etwaige Subunternehmer/-innen einschlägig nach VSU zugelassen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>2. Sind folgende Punkte dokumentiert</b>			
• Ausreichende Begründung für vom Probenahmeplan abweichende Vorgehensweise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Witterung am Tag der Probenahme und an den Vortagen, insbesondere Niederschlagsereignisse und Luft- und Bodentemperatur, Luftdruck	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Angaben zur Bohrlochabdichtung (z. B. Packer, Quellton), zum Entnahmbereich (mindestens 1 Meter unter GOK)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Eingesetzte Geräte und Materialien zur Probenahme, Messbereich CO <sub>2</sub> -Detektor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Dichtigkeitsprüfung des Sondensystems vor jeder Probenahme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Art und Material der Anreicherungs- oder Direktsammelgefäße	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Angaben zum Unterdruck bei Direktsammelgefäßen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Volumenstrom, Durchflussmenge, Probenvolumen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Angabe des Zeitpunktes der Probenahme in Abhängigkeit vom ausgetauschten Totvolumen und des CO <sub>2</sub> -/O <sub>2</sub> -Gehalts in der abgepumpten Bodenluft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Reihenfolge der Messstellenbeprobung (Hinweis auf verschleppungsbedingte Verunreinigungen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	



	ja	nein	Bemerkungen
<ul style="list-style-type: none"><li>• Transport- und Lagerzeiten/-bedingungen, Übergabeprotokoll</li></ul>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ergebnisse von Blindprobenuntersuchungen, z. B. nach Reinigung der Probenahmeegerätschaften</li></ul>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Angaben zur Überführung der Bodenluftproben in das GC-System und zu angewandten Normen</li></ul>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Aufnahme des Schichtenprofils nach Kurz-KA 5 (2009) bzw. nach DIN EN ISO 14688-1, DIN EN ISO 14689 und DIN EN ISO 22475-1 unter Einbeziehung der Parameter der Kurz-KA 5 (2009)</li></ul>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**Anhang 3: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenproben**

Teil 1: Flächenbezogene Daten (dieser Teil gilt für die gesamten Beprobungspunkte der zu untersuchenden Fläche)

Titel Daten – Fläche			
Projektbezeichnung		Landkreis	
Projekt-/Auftragsnummer		Gemeinde	
Untersuchungsstelle		Gemarkung	
Sachbearbeiter/-in		Kataster-Nr. (ABuDIS)	
Auftraggeber/-in		Kartenblatt	
Datum der Probenahme		Flurstücksnummer(n)	
Probenehmer/-in		Labor	
Versiegelungsart		Versiegelungsgrad (Kurz-KA 5, S. 24)	
Nutzungsart		Anteilsklasse der Nutzungsart (Kurz-KA 5, S. 25)	
Vegetation		Anteilsklasse der Vegetation (Kurz-KA 5, S. 25)	
Für die Richtigkeit der Angaben		Datum/Uhrzeit, Unterschrift Probenehmer/-in	

## Teil 2: Punktbezogene Daten, Aufnahmesituation

Punktbezogene Standortbeschreibung und Aufnahmesituation			
Projekt-/Auftrags-Nr.		Höhe des Ansatzpunktes [Meter über NN]	
Probenehmer/-in		Rechtswert (UTM)	
Flurstücks-Nr.		Hochwert (UTM)	
Nutzungsart		Beprobungspunkt	
Witterung am Tag der Probenahme und Vortagen		Temperatur Außenluft [°C]	
Oberflächenversiegelung <input type="checkbox"/> ohne <input type="checkbox"/> Asphalt <input type="checkbox"/> Beton <input type="checkbox"/> _____			
Aufschlussart <input type="checkbox"/> Bohrung <input type="checkbox"/> Schurf <input type="checkbox"/> _____			
Bohrwerkzeug		Bohrgerätetyp	
Sondendurchmesser [mm]		Bohrtiefe/Endtiefe [m]	
Grundwasser angetroffen bei [Meter unter GOK]		Ausbau mit Filterrohr	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
Bohrloch wiederverfüllt mit		Oberfläche wiederhergestellt mit	
Entnahmegesetz		Bei flächenbezogener Bodenmischprobe:	
Reinigung der Bohr- und Entnahmegesetze		Beprobte Fläche [m <sup>2</sup> ]:	
		Anzahl Einzelproben: <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> _____	
Nr. der Probenahme innerhalb der Reihenfolge einer Kampagne		Weitere Angaben zur Mischprobenbildung (z. B. Zusammenfassung engräumiger Schichten bis ein Meter Tiefenintervall oder engräumig benachbarte Bohrungen):	
Datum und Uhrzeit der Probenahme			
Für die Richtigkeit der Angaben			
		Datum/Uhrzeit, Unterschrift Probenehmer/-in	

Teil 3: Schichtenverzeichnis in Anlehnung an die Kurz-KA 5 (2009) (Bezeichnungen und Seitenzahlen in den Datenfeldern beziehen sich auf Kurz-KA 5 (2009))

Projekt-/Auftrags-Nr.			Probenehmer/-in; Sachbearbeiter/-in			Datum/Uhrzeit			Beprobungspunkt					
Lfd. Nr.	Unter-/ Ober- grenze S. 31	Fein- boden S 55	Grob- boden S. 65	Anteil Grob- boden [%] S. 66	Beimengun- gen S. 76	Ge- ruch	Farbe S. 37	Hu- mus- gehalt S. 41	Carbonat- gehalt S. 70	Entnah- metiefe [m unter GOK] von - bis	Proben- bezeich- nung	Proben- gefäß/ -volu- men	Trans- port-, Lager- bedin- gun- gen	Bemerkungen (z. B. Methanol- überschichtung und/oder Hin- weise auf hohe Belastungen)
Bemerkungen, besondere Vorkommnisse:														
Für die Richtigkeit der Angaben								Datum/Uhrzeit, Unterschrift Probenehmer/-in						
Übergabe der Proben an die Untersuchungsstelle/Labor Fachgerecht (gekühlt, dicht etc.): <input type="checkbox"/> ja / <input type="checkbox"/> nein								Datum/Uhrzeit, Unterschrift Untersuchungsstelle/Labor						

Fortsetzung Teil 3 (optionale Angaben):

Projekt-/Auftrags-Nr.				Probenehmer/-in; Sachbearbeiter/-in			Datum/Uhrzeit				Beprobungspunkt	
Neigung S. 27		Exposition S. 28		Reliefbeschreibung S. 28			Bodenabtrag/-auftrag S. 29		Vegetation S. 30			
Lfd. Nr.	Unter-/Obergrenze S. 31	Horizontsymbol S. 32	Oxidative und reduktive Hydromorphie-merkmale S. 43	Bodenfeuchte S. 45	Konsistenz S. 45	Hohlräume S. 47	Trockenrohdichte bzw. effektive Lagerungsdichte/Substanzvolumen und Zersetzungsstufe S. 48	Substratgenese S. 54	Geogener C-Gehalt S. 69	Bodenausgangsgestein S. 71	Bemerkungen	

**Anhang 4: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenluftproben**

Teil 1: Flächenbezogene Daten (dieser Teil gilt für die gesamten Beprobungspunkte der zu untersuchenden Fläche)

Titel­daten – Fläche			
Projektbezeichnung		Landkreis	
Projekt-/Auftragsnummer		Gemeinde	
Untersuchungsstelle		Gemarkung	
Sachbearbeiter/-in		Kataster-Nr. (ABuDIS)	
Auftraggeber/-in		Kartenblatt	
Datum der Probenahme		Flurstücksnummer(n)	
Probenehmer/-in		Labor	
Versiegelungsart		Versiegelungsgrad (Kurz-KA 5, S. 24)	
Nutzungsart		Anteilsklasse der Nutzungsart (Kurz-KA 5, S. 25)	
Vegetation		Anteilsklasse der Vegetation (Kurz-KA 5, S. 25)	
Für die Richtigkeit der Angaben		Datum/Uhrzeit, Unterschrift Probenehmer/-in	

## Teil 2: Punktbezogene Daten, Aufnahmesituation

Punktbezogene Standortbeschreibung und Aufnahmesituation			
Projekt-/Auftrags-Nr.		Höhe des Ansatzpunktes [Meter über NN]	
Probenehmer/-in		Rechtswert (UTM)	
Flurstücks-Nr.		Hochwert (UTM)	
Temperatur Außenluft [°C]		Beprobungspunkt	
Bodentemperatur [°C]		Witterung am Tag der Probenahme und an Vortagen	
Luftdruck [hPa]			
Oberflächenversiegelung <input type="checkbox"/> ohne <input type="checkbox"/> Asphalt <input type="checkbox"/> Beton <input type="checkbox"/> _____			
Aufschlussart: <input type="checkbox"/> Rammkernsonde <input type="checkbox"/> Schlitzsonde <input type="checkbox"/> _____			
Bohrwerkzeug		Bohrgerätetyp	
Sondendurchmesser [mm]		Bohrtiefe/Endtiefe [m]	
Grundwasser angetroffen bei [Meter unter GOK]		Ausbau mit Filterrohr	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
Bohrloch wiederverfüllt mit		Oberfläche wiederhergestellt mit	
Reinigung der Bohr- und Entnahmeggeräte		Art der Entnahmestelle	<input type="checkbox"/> stationär <input type="checkbox"/> temporär
Entnahmehereich [Meter unter GOK]	von: bis:	Abdichtung des Bohrlochs bzw. Entnahmehereichs mit	
Dichtigkeitsprüfung der Entnahmesonde		Schichtenverzeichnis nach Kurz-KA 5 bzw. DIN EN ISO 14688-1 und 14689-1 unter Einbeziehung der Parameter der Kurz-KA 5 liegt bei	<input type="checkbox"/> ja
Für die Richtigkeit der Angaben		Datum/Uhrzeit, Unterschrift Probenehmer/-in	

## Teil 3: Probenahme

Probenahme			
Projekt-/Auftrags-Nr.		Probenehmer/-in	
Beprobungspunkt		Probenbezeichnung	
Datum und Uhrzeit der Probenahme		Nr. der Probenahme innerhalb der Reihenfolge einer Kampagne	
Art des Entnahmeverfahrens			
<input type="checkbox"/> Gassammelgefäß	<input type="checkbox"/> Adsorptionsröhrchen	<input type="checkbox"/> Direktmessung	
__ Headspace-Gläschen ml Septum-Material: __ Minican, 1 l mit Unterdruck: mbar __ Sonstige: Volumen: ml	__ Typ:  Adsorbens:  Volumen: ml	<input type="checkbox"/> GC-MS Ggf. Injektionsvolumen: _____  <input type="checkbox"/> Sonstige:	
Vor-Ort-Messungen		Gerätemessbereich für CO <sub>2</sub> :	
CO <sub>2</sub> Verlauf	O <sub>2</sub> Verlauf	Bei Probenahme	
____ min: ____ Vol.-%	____ min: ____ Vol.-%	CH <sub>4</sub> : ____ Vol.-%	
____ min: ____ Vol.-%	____ min: ____ Vol.-%	H <sub>2</sub> S: ____ ppm	
____ min: ____ Vol.-%	____ min: ____ Vol.-%	Sonstige:	
____ min: ____ Vol.-%	____ min: ____ Vol.-%	Bohrloch-Temp.: ____ °C	
____ min: ____ Vol.-%	____ min: ____ Vol.-%	Volumenstrom ____ l/h	
Absaug-Unterdruck ____ mbar	Absaugdauer vor Probenahme: ____ min	Entnahmemenge ____ l	
Transport ins Labor mit <input type="checkbox"/> Kurier <input type="checkbox"/> _____	Lagerung der Proben		
<input type="checkbox"/> ungekühlt <input type="checkbox"/> gekühlt <input type="checkbox"/> dunkel	<input type="checkbox"/> ungekühlt <input type="checkbox"/> gekühlt <input type="checkbox"/> dunkel		
Bemerkungen, besondere Vorkommnisse			
Für die Richtigkeit der Angaben		Datum/Uhrzeit, Unterschrift Probenehmer/-in	
Übergabe der Proben an <input type="checkbox"/> Transporteur / <input type="checkbox"/> Labor:		Datum/Uhrzeit, Unterschrift Untersuchungs-	
Fachgerecht (etikettiert, dicht etc.): <input type="checkbox"/> ja / <input type="checkbox"/> nein		stelle/Labor	



## Teil 4: Aufnahme von Daten/Messungen bei Entnahme mehrerer Bodenluftproben aus einer Entnahmestelle (z. B. aus unterschiedlichen Tiefen)

Probenahme/Vor-Ort-Messungen									
Projekt-/Auftragsnummer:		Ort:		Labornummer:		Probenehmer/-in:		Beprobungspunkt:	
Datum/ Uhrzeit	Bezeichnung der Probe	Entnah- metiefe [m]	Volumen- strom [l/h]	Absaug- dauer [min]	Entnahme- volumen [l]	Art der Pro- bensamm- lung	Probenvolumen, Mehrfachbepro- bung	Vor-Ort-Messungen, Aufzeichnung CO <sub>2</sub> - Verlauf	Sonstiges

---

### Impressum:

**Herausgeber:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Telefon: 0821 9071-0  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

**Bearbeitung:**

LfU, Referat 96

**Bildnachweis:**

LfU, Caroline Stumpf

**Stand:**

Oktober 2023

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.