



Merkblatt Nr. 3.8/4

Stand: 15. November 2017

alte Nummer: 3.8/4 vom 15. Februar 2010

Ansprechpartner: LfU Referat 96

Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Boden- veränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | 3 |
| Tabellenverzeichnis | 3 |
| 1 Allgemeine Hinweise | 4 |
| 1.1 Zielsetzung und Inhalt | 4 |
| 1.2 Hinweise zur Qualitätssicherung | 4 |
| 1.3 Anwendungsbereich | 5 |
| 2 Grundlagen der Probenahmeplanung und -durchführung | 6 |
| 2.1 Allgemeines | 6 |
| 2.2 Spartenklärung | 6 |
| 2.3 Kampfmittelerkundung | 7 |
| 2.4 Arbeitsschutz | 7 |
| 2.5 Untersuchungsparameter | 8 |
| 2.6 Beprobungsmedien | 8 |
| 2.6.1 Beprobungsmedium Boden | 8 |
| 2.6.2 Beprobungsmedium Bodenluft | 9 |
| 2.7 Bohranzeige | 10 |
| 2.8 Verfüllung von Schürfen und Bohrlöchern | 10 |
| 2.9 Entsorgung von nicht benötigtem Probengut/Boden | 11 |
| 3 Probenahmeplanung für die Orientierende Untersuchung | 13 |
| 3.1 Bodenuntersuchungen bei vermuteten Kontaminationsschwerpunkten | 13 |
| 3.1.1 Wirkungspfad Boden-Gewässer | 13 |
| 3.1.2 Wirkungspfad Boden-Mensch | 14 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2 | Bodenuntersuchungen bei flächenhafter oder unbekannter Schadstoffverteilung | 15 |
| 3.2.1 | Wirkungspfad Boden-Gewässer | 16 |
| 3.2.2 | Wirkungspfad Boden-Mensch | 16 |
| 3.3 | Bodenluftuntersuchungen | 17 |
| 3.4 | Wirkungspfad übergreifender Probenahmeplan | 18 |
| 4 | Probenahmeplanung für die Detailuntersuchung | 19 |
| 4.1 | Bodenuntersuchungen | 19 |
| 4.1.1 | Wirkungspfad Boden-Gewässer | 19 |
| 4.1.2 | Wirkungspfad Boden-Mensch | 20 |
| 4.2 | Bodenluftuntersuchungen | 21 |
| 5 | Entnahme von Bodenproben | 22 |
| 5.1 | Allgemeines | 22 |
| 5.2 | Aufschlussverfahren | 23 |
| 5.2.1 | Handbohrung | 23 |
| 5.2.2 | Kleinrammbohrung (sog. Rammkernsondierung) | 23 |
| 5.2.3 | Rammkernbohrung | 25 |
| 5.2.4 | Rotationskernbohrung | 25 |
| 5.2.5 | Schlauchkernbohrung | 25 |
| 5.2.6 | Schurf | 26 |
| 5.3 | Probengewinnung | 26 |
| 5.4 | Bodenansprache und Profilbeschreibung | 29 |
| 5.5 | Dokumentation und Probenahmeprotokoll | 30 |
| 6 | Entnahme von Bodenluftproben | 32 |
| 6.1 | Bodenluftmessstellen | 32 |
| 6.1.1 | Temporäre Messstellen | 32 |
| 6.1.2 | Stationäre Messstellen | 33 |
| 6.2 | Gassammelbehältnisse und Adsorptionsröhrchen | 34 |
| 6.2.1 | Headspace-Gläschen | 34 |
| 6.2.2 | Minicans | 34 |
| 6.2.3 | Glaspipetten | 34 |
| 6.2.4 | Weitere Direkt-Sammelgefäße | 34 |
| 6.2.5 | Adsorptionsröhrchen | 35 |
| 6.3 | Vorgehensweise bei der Bodenluftentnahme | 35 |
| 6.3.1 | Direktverfahren | 37 |
| 6.3.2 | Anreicherungsverfahren | 38 |
| 6.3.3 | Passive Entnahmeverfahren | 39 |
| 6.4 | Dokumentation und Probenahmeprotokoll | 40 |
| 7 | Direct-Push-Verfahren | 41 |
| 7.1 | Definition, Verfahren und Anwendungsbereiche | 41 |
| 7.2 | Sonden zur beprobungslosen Erkundung | 42 |

| | | |
|-----|--|-----------|
| 7.3 | Sonden zur Entnahme von Boden- und Bodenluftproben | 43 |
| 7.4 | Vorgehensweise bei der Standorterkundung mit DP-Verfahren | 43 |
| 7.5 | Qualitätssicherung und Dokumentation | 44 |
| | Literaturverzeichnis | 46 |
| | ANHANG 1: Checkliste zur Qualitätssicherung (Bodenprobenahme) | 52 |
| | ANHANG 2: Checkliste zur Qualitätssicherung (Bodenluftprobenahme) | 53 |
| | ANHANG 3: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenproben | 55 |
| | ANHANG 4: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenluftproben | 59 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------|--|----|
| Abb. 1: | Schematische Darstellung der Entnahme einer Bodenprobe aus einer Rammkernsonde | 25 |
|---------|--|----|

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| Tab. 1: | Orientierungshilfe für die Mindestanzahl der Beprobungspunkte im Bereich von vermuteten Kontaminationsschwerpunkten (nutzungsunabhängig) nach [ALA UA QS, 2002] | 14 |
| Tab. 2: | Nutzungsorientierte Beprobungstiefen bei Untersuchungen zu den Wirkungspfaden Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze | 15 |
| Tab. 3: | Beprobungspunkte (entspricht Beprobungsteilflächen) für die oberflächennahe Beprobung von Flächen mit allgemeinen Verdachtshinweisen (nutzungsabhängig) nach [ALA UA QS, 2002] | 17 |
| Tab. 4: | Übersicht über Aufschlussverfahren bei der Erkundung von Altlastverdachtsflächen (nach [ITVA-Arbeitshilfe F 2-1, 1995], [DIN ISO 10381-2, 2003] und [DIN EN ISO 22475-1, 2007]) | 24 |
| Tab. 5: | Mindestmengen der Einzel- und Mischproben in Abhängigkeit von der Korngröße (siehe [LAGA PN 98, 2001]) | 28 |
| Tab. 6: | Mindestprobenlängen für 1 kg Material in Abhängigkeit vom Bohrdurchmesser und vom Größtkorn (in Anlehnung an [ITVA-Arbeitshilfe F 2-1, 1995]) | 28 |

1 Allgemeine Hinweise

1.1 Zielsetzung und Inhalt

Die Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Verdachtsflächen auf stoffliche schädliche Bodenveränderungen¹ stellt hohe Anforderungen an die Planung und Durchführung der Probenahme. Die Probenahme als ein zentrales Element in einem Untersuchungsverfahren beeinflusst als Grundlage für die weiteren Untersuchungsschritte (analytische Bestimmung einschließlich Probenvorbereitung, Messung und Auswertung) maßgeblich die Qualität und Aussagekraft einer Untersuchung.

Anhang 1 Nr. 2 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung [BBODSCHV, 1999] enthält einige Vorgaben zur Probenahme von Böden, Bodenmaterialien, sonstigen Materialien und Bodenluft bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen für die Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Nutzpflanze und Boden-Gewässer.

Ziel dieses Merkblatts ist es, die Vorgaben der [BBODSCHV, 1999] zur Probenahmeplanung und Probenahme für Böden, Bodenmaterialien, sonstigen Materialien und Bodenluft bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer zu ergänzen, zu konkretisieren und zu vereinheitlichen. Damit sollen die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit von Untersuchungsergebnissen verbessert und die Bewertungssicherheit erhöht werden. Der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze ist nicht Gegenstand dieses Merkblatts.

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

1.2 Hinweise zur Qualitätssicherung

Sachverständige und Untersuchungsstellen, die Aufgaben nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz [BBODSCHG, 1998] wahrnehmen, müssen gemäß § 18 [BBODSCHG, 1998] bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Die entsprechende Zulassung nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbearbeitung in Bayern (Sachverständigen- und Untersuchungsstellen-Verordnung VSU) [VSU, 2001] erfolgt durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU).

Zur Durchführung der Orientierenden Untersuchung 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) nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen zu beauftragen. Dies kann nach § 9 Abs. 2 Satz 2 und § 13 Abs. 2 [BBODSCHG, 1998] von der Kreisverwaltungsbehörde (KVB) gefordert werden.

Gemäß § 14 [VSU, 2001] hat eine Untersuchungsstelle bezüglich der Probenahme definierte personelle und gerätetechnische Voraussetzungen zu erfüllen. Voraussetzung für die Zulassung einer Untersuchungsstelle für die Probenahme von Feststoffen (Untersuchungsteilbereich 1.1) und Bodenluft (Untersuchungsteilbereich 3.1) ist die Erfüllung der in der Anlage 2 Teil A [VSU, 2001] in Verbindung

¹ Definition siehe § 2 Abs. 4 und Abs. 6 [BBODSCHG, 1998]; im Folgenden werden aus Gründen der besseren Lesbarkeit diese Flächen immer mit dem Begriff Altlastverdachtsflächen bezeichnet

mit dem [LABO FACHMODUL BODEN UND ALTLASTEN, 2012] genannten Anforderungen an die Kompetenz von Untersuchungsstellen. Zugelassene Untersuchungsstellen sind verpflichtet, im gesetzlich geregelten Bereich ausschließlich diejenigen Verfahren routinemäßig anzuwenden, die in der individuellen Verfahrensliste tabelliert sind, welche ihrem Zulassungsbescheid anliegt. Die für die Zulassung erforderliche gerätetechnische Mindestausstattung zur Durchführung der Probenahme von Feststoffen und Bodenluft und der Vor-Ort-Bestimmungen wird durch Anhang 3 [LABO FACHMODUL BODEN UND ALTLASTEN, 2012] festgelegt. Die fachlichen Anforderungen an die Entnahme von Boden- und Bodenluftproben in der Vollzugspraxis werden durch die Vorgaben dieses Merkblatts konkretisiert.

Die im Anhang 1 und 2 aufgeführten Checklisten dienen zur Überprüfung, ob die Anforderungen an die Probenahme erfüllt werden.

Hinweise für die Vergabe von Leistungen durch die Wasserwirtschaftsämter im Rahmen der Amtsermittlung bei der Orientierenden Untersuchung, also auch bezüglich der Probenahme, enthält das [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/2, 2009].

1.3 Anwendungsbereich

Das vorliegende Merkblatt 3.8/4 ist anzuwenden bei der **Entnahme von Boden- und Bodenluftproben** im Rahmen der Erkundung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen zur Beurteilung der Wirkungspfade

- Boden-Gewässer
- Boden-Mensch

Für die Entnahme von Wasserproben ist das [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/6, 2010] anzuwenden.

2 Grundlagen der Probenahmeplanung und -durchführung

2.1 Allgemeines

Die grundsätzlichen Vorgaben der Bodenschutzgesetzgebung zur Untersuchung und Bewertung von Altlastverdachtsflächen sind für den Wirkungspfad Boden-Gewässer im [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001] und für den Wirkungspfad Boden-Mensch im [LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 1, 2002] und [LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 2, 2009] konkretisiert. Vorgaben und Hinweise zur Untersuchung von Bodenproben, Sickerwasser und Eluaten gibt das [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/5, 2017], Vorgaben und Hinweise zur Entnahme und Untersuchung von Grundwasser enthält das [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/6, 2010].

Die Probenahmeplanung für Böden, Bodenmaterial, sonstige Materialien und Bodenluft bei Altlastverdachtsflächen richtet sich nach der Untersuchungsphase, den im Einzelfall berührten Wirkungspfaden, der Flächengröße, dem Schadstoffspektrum sowie der vermuteten horizontalen und vertikalen Schadstoffverteilung. Neben der früheren Nutzung ist für den Pfad Boden-Mensch nach Anhang 1 der [BBodSCHV, 1999] auch die gegenwärtige und die planungsrechtlich zulässige Nutzung zu berücksichtigen. Die Vorgehensweise bei Untersuchungen für den Wirkungspfad Boden-Gewässer ist unabhängig von der Art der Bodennutzung, allerdings kann die Nutzung des Gewässers (z. B. nahe gelegene Trinkwasserbrunnen) bei der Probenahmeplanung berücksichtigt werden.

Vor einer Probenahme auf Altlastverdachtsflächen ist ein für die jeweilige Verdachtsfläche auf der Grundlage der Historischen Erkundung angepasstes **Untersuchungskonzept mit Probenahmeplan** zu erarbeiten. Neben den o. g. Punkten sind auch die Ergebnisse aus der Ortseinsicht, die geologischen/hydrogeologischen Gegebenheiten, sonstige Erkenntnisse (z. B. bereits vorliegende Beprobungsergebnisse, 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 Bestandteil des Gutachtens. Weitere Hinweise zur Probenahmeplanung finden sich z. B. in [ALA UA QS, 2002], [DIN ISO 10381-1, 2003] und [DIN ISO 10381-5, 2007].

2.2 Spartenklärung

Bei der Probenahme ist sicherzustellen, dass es zu keiner Beschädigung von Sachgütern kommt. Hierzu sind u. a. bei den zuständigen Stellen die aktuellen Leitungspläne einzusehen und es ist eine Flächenfreigabemappe zu erstellen.

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

Sind Leitungen in der Nähe von Bohr- oder Beprobungspunkten 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 Sondierungsstelle z. B. mit einem geeigneten Leitungssuchgerät zu überprüfen. Ggf. ist auch eine gemeinsame Ortseinsicht mit den zuständigen Stellen durchzuführen.

Mindestens nachfolgende Stellen sind für die Spartenklärung anzufragen:

- Baubehörden
- Betreiber von Ver- und Entsorgungsleitungen
- Grundstückseigentümer

2.3 Kampfmittelerkundung

Im Zuge der Historischen Erkundung (Nr. 4.1.1.3 [BAYBODSCHVWV, 2000]) 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 [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/7, 2016] Kapitel 7).

Vor Durchführung der Orientierenden Untersuchung im Rahmen der Amtsermittlung ist vom **Wasserwirtschaftsamt (WWA)** als verantwortliche Auftraggeberin im Zuge der Ausschreibung und Durchführung von Felduntersuchungen zu prüfen, ob der Frage des Kampfmittelverdachtes im Rahmen der Historischen Erkundung nachgegangen wurde und ob dieser ausgeräumt werden konnte. Ggf. ist die KVB bei fehlender Klärung hinzuzuziehen. Lässt sich der Kampfmittelverdacht nicht vollständig ausschließen oder wurde dieser bestätigt, ist dem im Rahmen der Orientierenden Untersuchung durch entsprechende Maßnahmen Rechnung zu tragen. Dies gilt auch für die nachfolgenden vom Verantwortlichen nach BBodSchG zu veranlassenden Untersuchungsschritte.

Der vom Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (BayStMI) vorgehaltene Kampfmittelbeseitigungsdienst (KMBD) kann in gewissem Umfang im Rahmen der Amtsermittlung durch die WWA auf Rüstungsalblastverdachtsstandorten zur Freimessung von Untersuchungspunkten (unentgeltlich) zur Verfügung gestellt werden. Dies erfolgt – abhängig von den verfügbaren Kapazitäten und vorrangigen Gefahrenlagen – auf freiwilliger Basis. Bei sonstigen Flächen mit Verdacht auf Kampfmittel sind gegebenenfalls für die Kampfmittelortung qualifizierte Unternehmen (siehe z. B. Adressliste „[Fachfirmen in der Kampfmittelbeseitigung](#)“ auf der Internetseite des BayStMI) mit den erforderlichen Leistungen zu beauftragen.

Weitere Hinweise zu Kampfmitteln sind der Arbeitshilfe „Untersuchung von Rüstungsalblastverdachtsstandorten in Bayern“ [IABG, 2001] zu entnehmen.

2.4 Arbeitsschutz

Der **Auftragnehmer** hat beim Verdacht auf Kontaminationen durch Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe eine Verantwortung, die sich u. a. aus dem Arbeitsschutzgesetz [ARBSCHG, 1996], der Gefahrstoffverordnung [GEFSTOFFV, 2010], den Technischen Regeln für Gefahrstoffe 524 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ [TRGS 524, 2010] und der DGUV Regel 101-004 „Kontaminierte Bereiche“ [DGUV REGEL 101-004 (BISHER BGR 128), 2006] herleitet. Wesentlich sind hierbei Pflichten in Bezug auf den Sicherheits- und Gesundheitsschutz der Beschäftigten des Auftragnehmers und seine Verpflichtung, eine Beurteilung der Arbeitsbedingungen („Gefährdungsbeurteilung“) vorzunehmen (siehe auch § 5 [ARBSCHG, 1996]). Nach § 7 Abs. 1 [GEFSTOFFV, 2010] darf er die Arbeiten erst dann aufnehmen, wenn die Gefährdungsbeurteilung vorliegt.

Der **Auftraggeber** hat den Auftragnehmer bei der Erfüllung seiner Pflichten zu unterstützen. Seine Aufgaben beinhalten eine Erkundungs-, Planungs-, Informations- und Organisationsverantwortung, die sich aus dem Rechtsprinzip der Verkehrssicherungspflicht ableiten. Allgemeine Grundlagen hierfür sind das Bürgerliche Gesetzbuch (allgemeine Verkehrssicherungspflicht, siehe Beck'scher Kurzkomentar zum BGB, § 823 [PALANDT, 1999]), das Gefahrstoffrecht, die nachgeordneten Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), die Baustellenverordnung [BAUSTELLV, 1998], die Biostoffverordnung [BIOSTOFFV, 2013] sowie die [DGUV REGEL 101-004 (BISHER BGR 128), 2006]. Der Auftraggeber hat demnach dafür Sorge zu tragen, dass der Auftragnehmer die erforderlichen Informationen erhält, damit dieser die Gefährdungsbeurteilung erstellen und eventuell notwendige zusätzliche Arbeitsschutzmaßnahmen treffen kann. Er hat gemäß [TRGS 524, 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 [TRGS 524, 2010]) ist zu achten. Der A+S-Plan ist die Grundlage zur detaillierten Ausschreibung der bei den

Arbeiten in kontaminierten Bereichen zu ergreifenden Schutzmaßnahmen (siehe hierzu auch VOB C, ATV DIN 18299 [DIN 18299, 2016]).

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

Ausführliche Hinweise zu Sicherheit und Gesundheitsschutz sowie zur Ausschreibung und Vergabe dieser Leistungen im Rahmen der Amtsermittlung gibt [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/2, 2009].

2.5 Untersuchungsparameter

Die Auswahl der Untersuchungsparameter erfolgt auf der Grundlage der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Bearbeitungsschritten durch die Identifizierung bestimmter branchen- oder anlagentypischer Schadstoffe/Parameter. Vorhandene branchentypische Parameterkataloge (siehe auch Anhang 2 der Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts [BAYBODSCH-VwV, 2000] sowie branchenbezogene Altlastenmerkblätter und Branchenkataloge; weitere Informationen siehe [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/7, 2016] Kapitel 2.5) können bei der Untersuchungsplanung als Orientierungshilfe dienen, sollten aber nicht schematisch angewendet werden. Eventuelle Hinweise der fachkundigen Stelle Wasserwirtschaft an der KVB aufgrund von Erkenntnissen aus dem Vollzug der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [VAWS, 2006] sind ebenfalls zu berücksichtigen. Im Einzelfall ist der Untersuchungsumfang um zusätzliche Parameter zu erweitern, wenn dies aufgrund der örtlichen Gegebenheiten bei der Probenahme (angetroffene Fremdbeimengungen, Ergebnisse der (Vor-Ort-)Analytik, oder andere organoleptische Auffälligkeiten) angezeigt ist.

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

Weitere Hinweise zu relevanten Untersuchungsparametern finden sich im [LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 2, 2009] und im [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001]. Zu den Themenfeldern Probenvorbehandlung und Analysenmethoden einschließlich der Elutions- und Säulenverfahren sind Vorgaben und Hinweise im [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/5, 2017] enthalten.

2.6 Beprobungsmedien

Ob Boden oder Bodenluft beprobt wird, richtet sich u. a. nach den Eigenschaften der zu analysierenden Stoffe und den Standortgegebenheiten (Bodenaufbau, Geologie) sowie den relevanten Wirkungspfaden.

2.6.1 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 Bodenaufschlüsse zur Probengewinnung und die Art der entnommenen Bodenproben richten sich nach:

- den örtlichen Gegebenheiten
- der Art und Verteilung der Schadstoffe
- der Fragestellung der Untersuchung und den damit verbundenen Anforderungen an Güte und Menge des Probenmaterials

Aufschlussarten und Probengewinnung werden im Kapitel 5 näher beschrieben.

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

Die Entnahme von Bodenproben für den **Wirkungspfad Boden-Gewässer** erfolgt in der Regel horizont- und schichtbezogen aus tief reichenden, punktuellen Bodenaufschlüssen (Bohrungen, Schürfe) in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Stoffe, auf die die Proben untersucht werden sollen, und dem Aufbau des Untergrundes. Die Beprobungstiefe ist dementsprechend immer einzelfallabhängig festzulegen.

Für den **Wirkungspfad Boden-Mensch** sind hingegen die Beprobungstiefen nutzungsabhängig vorgeschrieben. Hier erfolgt die Entnahme von Mischproben flächenbezogen in definierten Tiefen (vgl. Tabelle 1 im Anhang 1 der [BBODSCHV, 1999]). Abweichende Beprobungstiefen sind zu begründen und zu dokumentieren. Nähere Hinweise zur tiefenbezogenen Probenahme enthält das Kapitel 3.1.2. Sofern in den für den Pfad 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.

2.6.2 Beprobungsmedium Bodenluft

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

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

Eine spezielle Form der Bodenluft stellt das sogenannte **Deponiegas** mit seinen Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid dar, das in einer Deponie oder Altablagerung durch mikrobiellen Abbau von organischem Material entsteht. Die Untersuchung von Deponiegasproben erfolgt insbesondere bei Verdacht auf organischen Deponiekomponenten (z. B. bei Hausmüllablagerungen oder hausmüllähnlichen/organischen Ablagerungen). Sie dient neben der Gefährdungsabschätzung auch der Bestimmung der Phase der Deponiegasentwicklung (Abbaustufen des organischen Materials). Der zeitliche Verlauf der Deponiegasentwicklung wird in [VDI-RICHTLINIE 3860 BLATT 1, 2006] beschrieben.

Soweit auf Grund der örtlichen Gegebenheiten oder nach den Ergebnissen von Bodenluftuntersuchungen Anhaltspunkte für die Ausbreitung von flüchtigen Schadstoffen aus einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche in Gebäude bestehen, soll eine Untersuchung der Innenraumluft erfolgen (§ 3 Abs. 6 [BBODSCHV, 1999]).

2.7 Bohranzeige

Grundsätzlich ist bei allen Bohrungen und Sondierungen zur Erkundung des Untergrundes vorab zu prüfen, ob eine Anzeigepflicht gemäß Wasserhaushaltsgesetz [WHG, 2009] und eventuell auch gemäß Lagerstättengesetz [LAGERSTG, 1934] besteht.

Dabei gelten für **Erkundungsbohrungen** bei Altlasten folgende Festlegungen:

Anzeige gemäß Wasserhaushaltsgesetz:

Der Vorhabensträger oder das beauftragte Bohrunternehmen zeigt der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde 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, 2009]). Nach der Prüfung der Anzeige durch die Kreisverwaltungsbehörde in Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt kann mit den Arbeiten begonnen werden, spätestens nach Ablauf der Frist von einem Monat soweit keine Rückmeldung erfolgt. 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 Kreisverwaltungsbehörde ist unverzüglich zu unterrichten (§ 49 Abs. 2 [WHG, 2009]).

Bei Erkundungsarbeiten im Rahmen der Orientierenden Untersuchung **entfällt die Anzeigepflicht**, wenn der Auftraggeber das Wasserwirtschaftsamt ist (Art. 30 Abs. 4 [BAYWG, 2010]). 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, 2009] in der Regel erlaubnisfrei (aber anzeigepflichtig), wenn keine Spülungszusätze eingesetzt werden und die Ausbaumaterialien (Rohre, Ringraumverfüllung) eine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) besitzen.

Anzeige gemäß Lagerstättengesetz:

Alle mit einem Bohrgerät i. e. S. abgeteuften Bohrungen sind vom Bohrunternehmen oder demjenigen, der zur Anzeige beauftragt wurde, mindestens zwei Wochen vor Beginn dem Geologischen Dienst im LfU anzuzeigen (§ 4 i. V. m. § 1 [LAGERSTG, 1934]). Ausgenommen von der Anzeigepflicht nach Lagerstättengesetz sind Handbohrungen. Das LfU verzichtet weiterhin auf die Anzeige von kleinkalibrigen Sondierungen mit Bohrhämmern wie Rammkernsondierungen oder Ramm- und Drucksondierungen. Baggerschürfe sind nicht Gegenstand des [LAGERSTG, 1934].

Bei anzeigepflichtigen Bohrungen im Rahmen der Altlastenerkundung ist davon auszugehen, dass in der Regel keine über die vorgesehene Planung hinausgehende Bohrgutentnahme erforderlich wird. Die Bohranzeige kann online beim LfU (www.lfu.bayern.de/geologie/bohranzeiger) eingereicht werden. Besteht eine Anzeigepflicht nach [LAGERSTG, 1934], so sind dem LfU innerhalb von drei Monaten nach Abschluss der Bohrarbeiten die Bohrdaten (u. a. Lage, Herstellungsangaben, Schichtenverzeichnisse sowie Bohrprofile) zu übersenden.

2.8 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 beziehungsweise verschließen.

In der Regel dürfte durch den Wiedereinbau des bei der Probenahme anfallenden Materials am selben Ort eine Beeinträchtigung der Allgemeinheit nicht zu erwarten sein. Daher kann das **Aushubmaterial in der Regel zur Verfüllung von Schürfen** verwendet werden. Das Aushubmaterial muss schichtengerecht und setzungsfrei rückverfüllt werden. Es ist außerdem sicherzustellen, dass kein offensichtlich schadstoffverdächtiges Material so an der Oberfläche eingebaut wird, dass nach der Verfüllung eine zusätzliche Kontamination der Oberfläche zurückbleibt (Abschnitt 6.4 [DIN ISO 10381-2, 2003]). Eventuell ist zusätzliches, sauberes Material zur Verfüllung des Schurfes oder zur Abdeckung der Oberfläche einzusetzen.

Zur **Verfüllung von Bohr- oder Sondierlöchern** ist das entnommene Bohrgut in der Regel ungeeignet, da das Entstehen neuer Wegsamkeiten nicht sicher ausgeschlossen und ein schichtengleiches Einbringen des Bohrgutes, insbesondere bei kleineren Bohrlochdurchmessern und bei bindigem Bodenmaterial, meist nicht möglich ist.

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

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

Die Verpressung von Bohrlöchern ist besonders dann ratsam, wenn aufgrund der örtlichen Gegebenheiten andernfalls eine Kontamination des Untergrundes beziehungsweise eine Ausbreitung einer vorhandenen Kontamination zu erwarten oder zu befürchten ist (Kapitel 6.4 in [DIN ISO 10381-2, 2003]).

Hinweise: kritisch zu prüfen ist allerdings eine Verpressung in klüftigen Festgesteinen oder grobstückigen Ablagerungen, da es hier zu größeren unkontrollierten Suspensionsverlusten kommen kann. Bei der Verwendung von Bentonit ist zu berücksichtigen, dass beim Vorhandensein von lipophilen Phasen (z. B. Teerölen) u. U. ein Quellen der Tonminerale verhindert wird und somit ein anderes Verfahren zu wählen ist.

Nur im **dokumentierten Ausnahmefall** kann 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 („Gleiches zu Gleichem“) ist zu gewährleisten und durch Tiefenlotung festzuhalten. Weitere Ausnahmen können sich bei oberflächennahen Sondierungen auf Deponiekörpern oder in Bereichen mit größerem Grundwasserflurabstand und gleichzeitig geringer zu erwartender Kontamination ergeben, wenn neue relevante Wegsamkeiten durch die Vor-Ort-Gegebenheiten sicher ausgeschlossen werden können.

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

2.9 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 [KRWG, 2016] ordnungsgemäß zu entsorgen. Ein Verbleib am Probenahmeort ist nur in Absprache mit 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, 2016]).

Für die Planung einer effektiven und kostengünstigen Entsorgung sind bereits vor Beginn der Maßnahme über die zuständige Abfallbehörde (in der Regel die Kreisverwaltungsbehörde als untere Abfall- und Rechtsbehörde) mögliche Entsorgungswege abzuklären. Die Entsorgung von wahrscheinlich kontaminiertem Erdreich oder anderem nicht verfüllbaren Material ist bereits in der Angebotsanfrage zum Untersuchungsauftrag zu berücksichtigen (siehe [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/2, 2009]).

3 Probenahmeplanung für die Orientierende Untersuchung

Die Untersuchung von Altlastverdachtsflächen erfolgt stufenweise. Der Historischen Erkundung (siehe [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/7, 2016]) kommt insbesondere bei der Untersuchung von Altstandorten eine wichtige Bedeutung für die Probenahmeplanung in den weiteren Untersuchungsschritten zu. Sie ist Grundlage für die Durchführung der Orientierenden Untersuchung. Hinweise zum Umfang einer Orientierenden Untersuchung und einer Detailuntersuchung geben das [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001] und das [LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 1, 2002].

Die Orientierende Untersuchung gilt als beendet, sobald der hinreichende Verdacht für das Vorliegen einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung erhärtet oder ausgeräumt wurde. Erstreckt sich eine Verdachtsfläche über mehrere Grundstücke (Flurstücke) mit verschiedenen Eigentümern und besteht die Möglichkeit der Heranziehung des Grundstückseigentümers als Verantwortlicher nach Bundesbodenschutzgesetz, sollte die Überprüfung des Altlastverdachts 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 jeweils spezifischer Probenahmeplan aufzustellen, der alle relevanten Wirkungspfade (Boden-Mensch, Boden-Pflanze, Boden-Gewässer) berücksichtigt. Bei der Probenahmeplanung beteiligt die Kreisverwaltungsbehörde entsprechend [BAYBODSCHVWV, 2000], Nrn. 4.1.1.3 und 4.1.1.4 die zuständigen fachlichen Stellen (Wasserwirtschaftsamt beim Wirkungspfad Boden-Gewässer, Landwirtschafts- und Forstbehörden für den Pfad Boden-Pflanze, Gesundheitsverwaltung für den Pfad Boden-Mensch).

Bei der Planung der Probenahme sind zunächst die in Kapitel 2 beschriebenen allgemeinen Grundsätze zu beachten. Die endgültige Festlegung von Beprobungspunkten sollte stets im Rahmen einer Ortseinsicht unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten (Sparten, Versiegelungen, Bebauung, Zugänglichkeit usw.) und unter Beteiligung des Auftraggebers, des Auftragnehmers und des betroffenen Grundstückseigentümers oder Pächters/Firmenbetreibers erfolgen. Die erforderlichen Untersuchungen für alle relevanten Wirkungspfade werden im Rahmen der Amtsermittlung in Amtshilfe durch das Wasserwirtschaftsamt ausgeschrieben und vergeben (vgl. [BAYBODSCHVWV, 2000], Nr. 4.1.1.4).

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 usw.) oder linienhafte Verunreinigungen (Leckagen an Pipelines, an Ver- und Entsorgungsleitungen oder an Gleisen usw.) sind gezielt zu beproben. Dies gilt auch für auffällige Bodenbereiche, wie z. B. Bereiche mit Bodenverfärbungen, mit Vegetationsschäden oder mit Änderungen bei der Bewuchsdichte.

3.1.1 Wirkungspfad Boden-Gewässer

Die Beprobungspunkte sind in die (vermuteten) Kontaminationsschwerpunkte zu setzen. Jeder (vermutete) Kontaminationsschwerpunkt ist zu beproben. Die Anzahl der Beprobungspunkte ist in Abhängigkeit von der Fläche des (vermuteten) Kontaminationsschwerpunktes im Einzelfall festzulegen. Die folgende Tab. 1 nach [ALA UA QS, 2002] gibt Anhaltspunkte hierzu; die angegebene Anzahl der Beprobungspunkte ist als Mindestanzahl zu verstehen. Abstand und Lage der Beprobungspunkte werden durch die zu erwartende Schadstoffverteilung unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten bestimmt.

| Flächengröße der vermuteten Kontaminationsschwerpunkte [m ²] | Anzahl der Beprobungspunkte (Orientierungshilfe) |
|--|--|
| < 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 [ALA UA QS, 2002]

Die Art der Bodenaufschlüsse und der Probengewinnung (z. B. Rammkernsondierung, Bohrung, Schurf) richtet sich nach der Fragestellung und den örtlichen Gegebenheiten (siehe hierzu Kapitel 5).

Die **Beprobungstiefe** ist jeweils im Einzelfall festzulegen. Das Durchbohren von Wasser stauenden Schichten im Liegenden der Untersuchungsfläche ist möglichst zu vermeiden; falls jedoch unumgänglich, sind besondere Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen. Erfahrungsgemäß empfiehlt es sich, den Untergrund möglichst bis mindestens einen Meter unterhalb von organoleptisch erkennbaren Verunreinigungen zu untersuchen.

An jedem Bohrpunkt sind über das gesamte Profil repräsentative, horizont- beziehungsweise schichtbezogene Bodenproben zu entnehmen. Bei Horizonten/Schichten von mehr als einem Meter Mächtigkeit ist zusätzlich zu beachten, dass **je Meter mindestens eine Probe** zu gewinnen ist (vgl. Anhang 1, Nr. 2.1.3 [BBODSCHV, 1999]). Für die Beprobung organoleptischer Auffälligkeiten und für die Untersuchung auf flüchtige organische Schadstoffe sind Einzelproben vorzusehen. Die Anzahl der zu entnehmenden Bodenproben ist dabei abhängig vom Untergrundaufbau, Art der Kontamination und Beprobungstiefe.

Das Aufschlussprofil ist detailliert nach der (Kurz-)KA 5 [BGR, 2009] beziehungsweise den Normen für geotechnische Erkundungen ([DIN EN ISO 22475-1, 2007], [DIN EN ISO 14688-1, 2013] und [DIN EN ISO 14689-1, 2011]) in Verbindung mit der Kurz-KA 5 (siehe Kapitel 5) anzusprechen.

Die Auswahl der entnommenen Bodenproben für die Analytik ist abhängig von der Untersuchungsphase und deren Zielsetzung. Insbesondere im Rahmen der Orientierenden Untersuchung sollten schwerpunktmäßig ausgewählte Bodenproben (z. B. aus vermuteten Kontaminationsschwerpunkten, organoleptisch auffälligen Bereichen) untersucht und restliche Proben als sachgemäß konservierte Rückstellproben vorgehalten werden. Diese können dann in Abhängigkeit von bereits gewonnenen Ergebnissen ggf. ergänzend untersucht werden.

An einzelnen Beprobungspunkten soll jedoch das gesamte Profil untersucht werden, um einen ersten Eindruck über die Schadstoffverteilung und das Schadstoffverhalten zu bekommen und im Vorfeld nicht erkannte, mögliche belastete Bereiche nicht zu übersehen.

3.1.2 Wirkungspfad Boden-Mensch

Zur Gewinnung einer Feststoffprobe für den Pfad Boden-Mensch werden gleichmäßig über die Fläche verteilt mittels Bohrstock 10 bis 25 Einstiche gesetzt, aus denen eine **flächenbezogene Mischprobe** gebildet wird. Um Verdünnungseffekte zu vermeiden, dürfen die Einstiche **nur innerhalb** der jeweiligen kontaminationsverdächtigen Fläche oder des auffälligen Bodenbereichs gesetzt werden. Bei abweichenden Nutzungen innerhalb eines zu beprobenden Kontaminationsschwerpunktes oder auffälligen Bodenbereiches sind die verschiedenen Nutzungen (z. B. Park-/Freizeitanlage, Kinderspielplatz) getrennt zu beproben.

Die **Anzahl der Einzelproben je Teilfläche** ist im Untersuchungsbericht anzugeben. Auch hier gilt, dass jeder (vermutete) Kontaminationsschwerpunkt einzeln zu beproben ist und Abstand und Lage

der Beprobungsteilflächen durch die zu erwartende Schadstoffverteilung unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten bestimmt werden. Die Anzahl von „Beprobungsteilflächen“ ist in Abhängigkeit von der Fläche des (vermuteten) Kontaminationsschwerpunktes im Einzelfall festzulegen; Tab. 1 (nach [ALA UA QS, 2002]) gilt auch hier als Anhaltspunkt für die Mindestanzahl der Beprobungsteilflächen.

Die **Beprobungstiefe** für den Wirkungspfad Boden-Mensch richtet sich nach der Nutzung. Tab. 2 enthält die Nutzungsarten und die zugehörigen beurteilungsrelevanten Bodentiefen gemäß Anhang 1 [BBodSCHV, 1999]. Diese gelten sowohl für die aktuelle als auch die planungsrechtlich zulässige Nutzung.

| Nutzung | Beprobungstiefen |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Kinderspielfläche | 0–10 cm ¹⁾ |
| Wohngebiet | 10–35 cm ²⁾ |
| Park- und Freizeitanlage | 0–10 cm ¹⁾ |
| Industrie- und Gewerbegrundstück | 0–10 cm ¹⁾ |
| Nutzgarten | 0–30 cm ³⁾ 30–60 cm |

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

¹⁾ Kontaktbereich für orale und dermale Schadstoffaufnahme, zusätzlich 0–2 cm bei Relevanz des inhalativen Aufnahmepfads

²⁾ 0–35 cm: durchschnittliche Mächtigkeit aufgebracht Bodenschichten, zugleich maximal von Kindern erreichbare Tiefe

³⁾ Bearbeitungshorizont

In Einzelfällen können abweichende Beprobungstiefen erforderlich sein, diese sind zu begründen und zu dokumentieren.

Sofern außer dem Wirkungspfad Boden-Mensch noch der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze berührt ist (z. B. Kleingartenanlagen, die sich sowohl zum Spielen für Kinder als auch für gärtnerische Zwecke eignen), ist die Altlastverdachtsfläche auch für diesen unter Berücksichtigung der in Tab. 2 genannten relevanten Bodentiefen zu beproben. Dabei muss nicht zwischen den (nahe beieinander liegenden) Beprobungstiefen von 35 cm für Wohngebiete/Kinderspielflächen und von 30 cm für Nutzgärten unterschieden werden, sondern es kann eine **Vereinheitlichung auf 30 cm** erfolgen.

Auch für die Beprobung für den Wirkungspfad Boden-Mensch gilt nach Anhang 1 [BBodSCHV, 1999], dass Böden horizontweise zu beproben sind; über das gesamte Profil gestörte Böden sind lagenweise zu beproben (siehe Kapitel 2.6.1).

Die **inhalative Aufnahme** von Schadstoffen kann besonders bei vegetationsfreien Fläche erfolgen. War bei der Prüfwertableitung der inhalative Wirkungspfad Boden und Staub für den jeweiligen Schadstoff maßgebend (z. B. für Chrom-VI, Beryllium oder Nickel), ist zusätzlich der Tiefenbereich 0 cm bis 2 cm zu beproben. Dabei ist sicherzustellen, dass der Schadstoffgehalt in der für die Staubbildung relevanten Feinkornfraktion bis 63 µm ggf. getrennt analysiert werden kann (siehe Anhang 1 [BBodSCHV, 1999]).

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 und -belastung 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.

3.2.1 Wirkungspfad Boden-Gewässer

Die Anzahl der Beprobungspunkte und deren Abstände sind in Abhängigkeit von der geschätzten Ausdehnung der Belastung festzulegen. Als Orientierung für die Anzahl der Beprobungspunkte können die Angaben in Tab. 3 für das Nutzungsszenario Kinderspielflächen herangezogen werden. Die Beprobungspunkte sollen gleichmäßig über die Verdachtsfläche verteilt sein; ein Abstand zwischen den Rasterpunkten von 100 Metern soll jedoch nicht überschritten werden.

Die Beprobungstiefe, die Art und Anzahl der Bodenaufschlüsse sowie der zu entnehmenden Bodenproben ist analog den Ausführungen in Kapitel 5 jeweils auf den Einzelfall abzustimmen.

Bei der Erkundung von **Altablagerungen** erlaubt eine stichprobenhafte Feststoffuntersuchung aufgrund der Heterogenität des Materials nur bedingt Aussagen über das vorhandene Schadstoffinventar (siehe Anhang 2 [BBODSCHV, 1999]). Ist mittels Feststoffuntersuchungen (möglichst Schürfe) keine hinreichend belastbare Bewertung möglich, können insbesondere zur Ausräumung eines Anfangsverdacht in der Phase der Orientierenden Untersuchung auch Grundwasseruntersuchungen (oder Sickerwasseruntersuchungen) zur integrativen Erfassung von Verunreinigungen sinnvoll eingesetzt werden (siehe Anhang 2, Nr. 3.2 [BBODSCHV, 1999]).

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 Kapitel 3.1.2). Auf Flächen mit sensibler Nutzung (Wohngebiet, Kinderspielplatz) dürfen Rastergrößen von 50 Meter mal 50 Meter grundsätzlich nicht überschritten werden. Die Rastergrößen bei Park-/Freizeitanlagen und Industrie-/Gewerbegrundstücken können bis 100 Meter mal 100 Meter betragen [ALA UA QS, 2002].

Eine Orientierungshilfe für die Mindestanzahl der Beprobungspunkte/Beprobungsteilflächen gibt Tabelle 3 (aus [ALA UA QS, 2002]). Werden trotz konkreter Anhaltspunkte keine Kontaminationen ermittelt, empfiehlt sich eine Verdichtung des Probenahmerasters.

Am jeweiligen Rasterpunkt wird aus **zehn bis 25 Einzeleinstichen** eine flächenbezogene Mischprobe gebildet. Die Anzahl der Einzelproben je Teilfläche ist im Untersuchungsbericht anzugeben. In Abhängigkeit von der Rastergröße können pro Mischprobe max. 200 m² als Beprobungsfläche angesetzt werden.

Tab. 3: Beprobungspunkte (entspricht Beprobungsteilflächen) für die oberflächennahe Beprobung von Flächen mit allgemeinen Verdachtshinweisen (nutzungabhängig) nach [ALA UA QS, 2002]

| Flächengröße in m ² | Nutzung | |
|--------------------------------|---|---|
| | z. B. Kinderspielflächen, Wohngebiete | z. B. Park-/Freizeitanlagen, Industrie-/ Gewerbegebiete |
| | empfohlene Anzahl der Beprobungsteilflächen | |
| < 500 | 3 | 2 |
| 500–10.000 | 3–10 | 2–5 |
| 10.000–100.000 | 10–40 | mind. 10 |

Sonderfall einer flächenhaften Kontamination:

Einen Sonderfall bei Altlastverdachtsflächen stellt eine annähernd gleichmäßige Schadstoffverteilung in der beurteilungsrelevanten Bodenschicht dar. Davon kann beispielsweise ausgegangen werden auf Flächen, die von Luft getragenen Immissionen beeinflusst sind. Gemäß Anhang 1 [BBODSCHV, 1999] soll hier eine Mischprobe aus 15 bis 25 Einzelproben gewonnen werden, wobei die Einzeleinstiche gleichmäßig über die Fläche (= Beprobungs(teil)fläche) verteilt werden. Bei Flächen mit einer Größe von 1.000 m² bis 10.000 m² erfolgt eine Teilung für jeweils 1.000 m², mindestens aber eine Aufteilung in drei Teilflächen, bei Flächen unter 500 m² ist keine Teilung erforderlich. Für Flächen über 10.000 m² sollen mindestens zehn Teilflächen gebildet werden. Von jeder Teilfläche ist eine Mischprobe zu bilden.

3.3 Bodenluftuntersuchungen

Bei der Orientierenden Untersuchung erfolgen Bodenluft- und Deponiegasuntersuchungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer in der Regel 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 Kapitel 6).

Werden bei Kontaminationen mit unbekannter Schadstoffverteilung Rasteruntersuchungen durchgeführt, dann sollen gemäß [VDI-RICHTLINIE 3865 BLATT 1, 2005] bei Bodenluftuntersuchungen die Beprobungsabstände 50 Meter nicht überschreiten; als **Richtwert wird ein Rasterabstand von 20 Meter** genannt.

Die **Entnahmetiefe** richtet sich nach dem Untergroundaufbau und dem vermuteten Schadstoffeintrag (oberflächlich oder unterirdisch z. B. aus Leitungen). Bodenluftproben sind ab einer Tiefe von einem Meter unter Geländeoberkante beziehungsweise Unterkante Oberflächenabdeckung zu entnehmen, jedoch höchstens bis einen Meter über der Grundwasseroberfläche (siehe [DIN ISO 10381-7, 2007]). Bei ähnlichem Schichtaufbau sollte die Entnahme von Bodenluftproben an den einzelnen Beprobungspunkten immer aus derselben Tiefe erfolgen.

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 vielfach sensorisch anhand von Vegetationsschäden erkennen. Zur Verifizierung dieser Gasaustritte und dem Erkennen weiterer Ausgasungen sind Begehungen z. B. mit einem FID (Flammenionisationsdetektor) sinnvoll. Dieses Verfahren wird in der [VDI-RICHTLINIE 3860 BLATT 3, 2017] beschrieben und durch [LFU DEPONIE-INFO 5, 2011] 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. Ausgehend von den Beprobungspunkten für den Wirkungspfad Boden-Gewässer (in der Regel tief reichende Bodenaufschlüsse wie Rammkernsondierungen, Schürfe) werden die Beprobungsteilflächen für den Pfad Boden-Mensch festgelegt. Die Bildung der flächenbezogenen Mischproben für den Pfad Boden-Mensch erfolgt dabei aus der oberflächennahen Bodenschicht sowohl aus dem entsprechenden Bereich der Rammkernsondierung/des Schurfs als auch aus dem Material der übrigen (zehn bis 25) Einstiche.

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 erhärtet hat
- die Feststellung, ob Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind

Die hierzu notwendigen Untersuchungen kann die KVB gegenüber dem Verpflichteten nach § 9 Abs. 2 Satz 1 [BBODSCHG, 1998] anordnen. Hinweise zum Umfang einer Detailuntersuchung geben auch das [LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 1, 2002] und das [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001].

Die Detailuntersuchung dient nach Anhang 1 [BBODSCHV, 1999] 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. grundstücksbezogen 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 des Auftraggebers, des Auftragnehmers und des betroffenen Grundstückseigentümers oder Pächters/Firmenbetreibers erfolgen.

Die im Folgenden gegebenen, allgemeinen Hinweise zur Probenahmeplanung sind aufgrund der Vielfalt der möglichen Fälle im Rahmen der Detailuntersuchung an den Einzelfall anzupassen.

4.1 Bodenuntersuchungen

4.1.1 Wirkungspfad Boden-Gewässer

Um die Verteilung von Bodenverunreinigungen festzustellen, sind diese 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, sowie eine Sickerwasserprognose zur Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Schadstoffverteilung unter Berücksichtigung des mobilisierbaren Anteils und des Milieus durchzuführen. Hierzu sind in der Regel Bodenaufschlüsse zur Gewinnung von Bodenproben für Feststoff- und Eluatuntersuchungen erforderlich.

Hat sich auf Grundlage der Ergebnisse der Orientierenden Erkundung der Gefahrenverdacht für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser erhärtet, so sind im Rahmen der Detailuntersuchung das Grundwasser beziehungsweise die hydrogeologischen Standortbedingungen weiterführend zu untersuchen. Zum Umfang dieser Untersuchungen siehe [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/6, 2010] und [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001].

Die Vorgehensweise bei der Bodenprobenahme ist abhängig von den örtlichen Gegebenheiten und den bereits ermittelten Kontaminationsbereichen. Die Anzahl der Beprobungspunkte ist im Einzelfall

festzulegen. Zur Abgrenzung von Kontaminationen aus **punktuellen Eintragsquellen** sind die Beprobungspunkte rasterartig um diese Eintragsquellen anzuordnen. Im Falle **linienhafter Verunreinigungen** sind zur Bestimmung der flächenhaften Ausdehnung der Kontamination die im Rahmen der Orientierenden Untersuchung festgelegten Beprobungspunkte mit beidseitig entlang der Schadensquelle auf parallelen Linien angeordneten weiteren Beprobungspunkten zu verdichten oder zu erweitern (siehe auch [DIN ISO 10381-1, 2003]).

Im Falle **flächenhafter** oder **unbekannter** Schadstoffverteilung ohne Belastungsschwerpunkte 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 der Untersuchungsphase sowie den örtlichen Gegebenheiten und sind dem jeweiligen Einzelfall anzupassen. Bei der Detailuntersuchung ist zur Erfassung der vertikalen Schadstoffverteilung die ungesättigte Bodenzone bis **mindestens einen Meter unterhalb einer Schadstoffanreicherung** oder eines auffälligen Bodenkörpers zu beproben. Dabei soll geklärt werden, ob bereits Schadstoffverlagerungen in tiefer liegende Schichten eingetreten sind oder ob eine Abgrenzung der bei der Orientierenden Untersuchung festgestellten Kontaminationen nach unten möglich ist.

Die Entnahme der Bodenproben erfolgt kontinuierlich **horizont- oder schichtbezogen (mindestens eine Probe pro Meter)** als repräsentative Bodenprobe. Bei organoleptischen Auffälligkeiten sind Sonderproben beziehungsweise für die Untersuchungen auf flüchtige organische Schadstoffe Einzelproben vorzusehen. Im Hinblick auf weitergehende Fragestellungen (z. B. weitere Untersuchungen zur Schadstoffmobilität, Eluatuntersuchungen, Säulenversuche) sind ausreichend große, fachgerecht konservierte Rückstellproben zu entnehmen. Sofern die Rückstellproben nur begrenzt haltbar sind, sind etwaige Nachuntersuchungen bereits vorab oder zeitnah abzustimmen.

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 und der Exposition der Schutzgüter sollen folgende Rahmenbedingungen bei der Beprobung beziehungsweise Probenahmeplanung einbezogen werden, die vom Sachverständigen im Gutachten zu dokumentieren sind (weitere Schritte siehe auch [LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 1, 2002]):

- **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.
- **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). Weitere Beispiele sind im [LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 1, 2002] enthalten.
- **Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit** nach [DIN 19738, 2017] als wesentliches Element der Detailuntersuchungen für den Pfad Boden-Mensch sind nach den bisherigen Erfahrungen vor allem an höher belastete Proben durchzuführen, da sonst eventuell die Bestimmungsgrenzen unterschritten werden und die Untersuchungsergebnisse nicht belastbar sind.

4.2 Bodenluftuntersuchungen

Bei Bodenluftuntersuchungen im Rahmen der Detailuntersuchung sind die Ausführungen zur Probenahmeplanung in Kapitel 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 Entnahme von Bodenproben für laboranalytische Untersuchungen sind Bodenaufschlüsse erforderlich. Die Art der Bodenaufschlüsse wird u. a. von den örtlichen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten, der Mächtigkeit und der Zugänglichkeit der Kontamination sowie den Anforderungen an die Probenmenge und -güte bestimmt. Nach der Bodenansprache und der Aufnahme des Bohrprofils beziehungsweise der Schichtenabfolge erfolgt die Probengewinnung und die Abfüllung in geeignete Gefäße (Ausnahme: bei Verdacht auf leichtflüchtige Stoffe erfolgt zuerst die Probenahme; siehe Kapitel 5.3).

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

Bezüglich des Wirkungspfades Boden-Gewässer sind die entnommenen Bodenproben repräsentativ für die jeweilige Mächtigkeit der zu beprobenden Schicht/Horizont oder Tiefenstufe zu entnehmen. Eine Beprobung darf nicht über Schichtwechsel hinweg erfolgen (**horizont- beziehungsweise schichtbezogene** Beprobung). Die beprobten Tiefenintervalle sind auf **maximal einen Meter** zu begrenzen.

In begründeten Fällen können Mischproben vertikal durch die Zusammenfassung engräumiger Bodenhorizonte und Schichten bis zu einem Tiefenintervall von maximal einem Meter hergestellt werden.

Flächenbezogene Mischproben (horizontal aus mehreren Beprobungspunkten) sind für den Pfad Boden-Gewässer nicht zulässig. Sofern für einen Beprobungspunkt größere Probenmengen für die Analytik benötigt werden (z. B. für Säulenversuche), können im unmittelbaren Umfeld von z. B. Rammkernsondierungen (bis ca. 0,5 Meter Abstand) weitere Sondierungen durchgeführt und die beprobungsrelevanten gleichartigen Horizonte oder Schichten zu einer Mischprobe (analog zur horizontierten Schurfbeprobung, s. Kapitel 5.2.6) zusammengefasst werden.

Die Herstellung von Mischproben ist vom Sachverständigen/Gutachter im Einzelfall immer zu begründen und zu dokumentieren.

Für den **Wirkungspfad Boden-Mensch** werden flächenbezogene Bodenmischproben entnommen, die hinsichtlich ihres mittleren Schadstoffgehaltes repräsentativ für die zu beurteilende Fläche sein sollen (siehe auch Kapitel 3.1.2).

Aus organoleptisch besonders auffälligen Bereichen (z. B. Öl- oder Teerverunreinigungen) sind **Sonderproben (Einzel- oder Mischproben)** zu entnehmen. Einzelproben stellen keine schichtbezogenen repräsentativen Proben dar, sondern geben punktuell den Schadstoffgehalt an der Entnahmestelle (Beprobungspunkt) wieder.

Rückstellproben sollen grundsätzlich immer entnommen werden. Sie sind notwendig für Kontrolluntersuchungen oder zur Durchführung zusätzlicher chemisch-physikalischer Untersuchungen in einem zweiten Schritt (ergänzende Parameter, Eluate, Säulenversuche usw.). Eine Erweiterung des Untersuchungsumfangs ist jedoch nur dann möglich, wenn die Probenahme auch in Bezug auf die neu hinzukommenden Parameter fachgerecht erfolgte. 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 kleinräumigen geogenen oder anthropogenen Hintergrundbelastung. In Bezug zur Altlastverdachtsfläche sind Referenzproben aus den entsprechend relevanten Horizonten oder Schichten zu entnehmen. Die Verwendung von Referenzproben sollte einzelfallab-

hängig in Abstimmung mit der zuständigen Behörde und unter Berücksichtigung von etablierten Hintergrundwerten erfolgen.

5.2 Aufschlussverfahren

Tab. 4 gibt einen Überblick über die gängigen Aufschlussverfahren zur Probengewinnung bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen und deren Vor- und Nachteile. Weitere Beschreibungen zu Aufschlussverfahren können der [DIN ISO 10381-2, 2003] und [DIN EN ISO 22475-1, 2007] entnommen werden.

5.2.1 Handbohrung

Für die Entnahme von Bodenproben bis in eine Tiefe von ca. 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 wegen ihrer leichten Handhabung einfach und schnell einsetzbar, aber in ihrer Aussagekraft wegen der eingeschränkten Güte der Aufschlüsse **begrenzt repräsentativ**. Handdreh- und Bohrstockbohrungen werden in der Regel für die Bodenprobenahme zur Untersuchung der obersten Bodenschichten für den Wirkungspfad Boden-Mensch angewandt.

Zur Probengewinnung wird das Bohrgut mithilfe eines Spatels, Messers oder Ähnlichem aus dem Bohrstock entnommen. Wegen der meist nicht ausreichenden Probenmenge sind in der Regel mehrere Einstiche erforderlich. Die Kontaktbereiche zu Bohrstock und Bohrlochwandung sollen, wie bei Kleinrammbohrungen (s. Kapitel 5.2.2), verworfen werden.

5.2.2 Kleinrammbohrung (sog. Rammkernsondierung)

Kleinrammbohrungen oder sog. Rammkernsondierungen eignen sich als preisgünstiges Aufschlussverfahren in unverfestigten bis gering verfestigten standfesten Böden. Je nach Untergrund sind mit Rammkernsondierungen Tiefen von fünf bis zehn Meter erreichbar. Beim Bohren wird die sog. Rammsonde, ein ca. ein Meter langes Entnahmerohr mit Längsöffnung, z. B. mithilfe eines (tragbaren) Elektrohammers in Meterschritten in die Erde gerammt und anschließend wieder gezogen. Um ausreichende Probenmengen und Probenqualität zu gewährleisten und möglichst repräsentative Bodenproben bei einer möglichst detailgetreuen Aufnahme des Untergrundprofils zu gewinnen, soll **ein Außendurchmesser von 80 mm** vorgesehen werden (siehe Kapitel 5.3). Geringere Bohrdurchmesser führen, ebenso wie die Verwendung von Kernrohren mit Längen von über einem Meter, zu nicht akzeptablen Störeinflüssen an den Bohrkernrändern und Stauchungen des Bohrkerns.

Erhebliche **Kernverluste** können die Eignung des Aufschlussverfahrens bei nicht bindigen Böden einschränken. Bei hohen Kernverlusten über 20 % wird ein erneutes Ansetzen, ggf. mit einem geeigneteren Aufschlussverfahren, notwendig, da eine zuverlässige Profilbeschreibung nicht möglich ist. Hinweise zur Gewinnung ausreichender Probenmengen (z. B. für Säulenversuche) aus Kleinrammbohrungen sind in Kapitel 5.1 aufgeführt.

Tab. 4: Übersicht über Aufschlussverfahren bei der Erkundung von Altlastverdachtsflächen (nach [ITVA-ARBEITSHILFE F 2-1, 1995], [DIN ISO 10381-2, 2003] und [DIN EN ISO 22475-1, 2007])

| Verfahren | Bohrdurchmesser [mm] | Eignung für Bodenarten* | | Vorteile | Nachteile | Fehlerquellen |
|---|----------------------|--|--|---|--|--|
| | | ungeeignet für Bodenart | geeignet für Bodenart | | | |
| Handbohrung | 15–80 | Grobkies, Steine, Schutt, klumpige Böden | Ton, Schluff, bindiger Sand und ähnliche Böden | sehr schnell und kostengünstig | nicht immer repräsentativ, nur bis max. 2 m, Kernverluste durch Stauchungen | Randkontamination, ungenaue Profilsprache, Verlust leichtflüchtiger Schadstoffe |
| Kleinrammbohrung | 35–80 | Grobkies, große Steine, klumpige Böden, grobstückige Auffüllungen | Ton, Schluff, bindiger Sand und ähnliche Böden bevorzugt bis höchstens $D_e/5$ | kostengünstig, schnell, auch in Kellern, Häusern usw. | Kernverluste durch 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 Korndurchmesser 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 | 65–200 | Feste Hindernisse | Alle Böden | kostengünstig, große Probenmengen | Störung der Proben, Entmischung rolliger Böden, Erwärmung bei festen Böden | Vermischung von Probegut, Verlust von Feinkorn unter Gw-Oberfläche, Verlust leichtflüchtiger Schadstoffe |
| Schlauchkernbohrung | 80–200 | Böden mit Korndurchmessern größer als $D_e/3$, feingeschichtete Böden | Ton, Schluff und Böden mit Korndurchmesser 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 (begehbar) | | 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 begehbar) | | 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 |

* D_e : Innendurchmesser des Bohrwerkzeugs

Zur **Probengewinnung** wird der Bohrkern mittels Spatel/Spachtel durch Abstreifen **senkrecht** zur Längsachse der Entnahmesonde von anhaftenden Resten und Verschleppungen befreit. Nach erfolgter Bodenansprache (siehe Kapitel 5.4) wird die Probe aus der Längsöffnung der Rammsonde durch Ausstechen eines Segments gewonnen (siehe Abb. 1). Für eine repräsentative schichtbezogene Mischprobe wird das Bodenmaterial durchgängig über die gesamte Länge der zu beprobenden

Schicht oder des zu beprobenden Horizonts ausgestochen. Beim Ausstechen des Segmentes ist darauf zu achten, dass die Kontaktbereiche zum Bohrgestänge, die durch den Bohrvorgang am stärksten beeinflusst wurden (Erwärmung, Verschleppung usw.), abgetrennt werden. Anschließend wird das Probengut als Einzel- oder Mischprobe für den jeweiligen Bodenhorizont oder die jeweilige Bodenschicht in geeignete Probengefäße (Kapitel 5.3) abgefüllt.

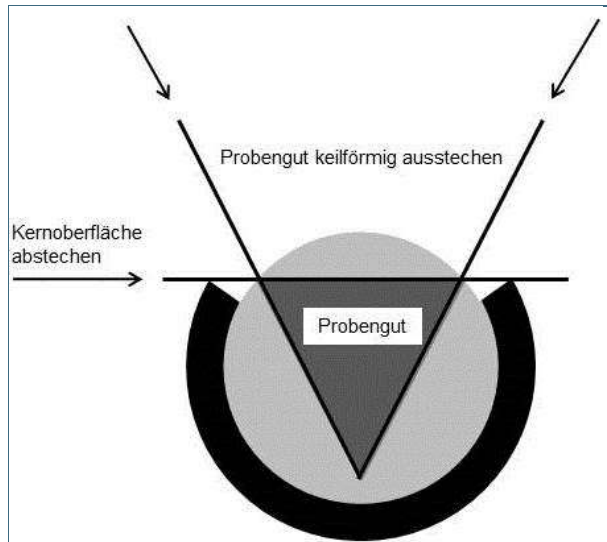


Abb. 1:
Schematische Darstellung der Entnahme
einer Bodenprobe aus einer Rammkernsonde

5.2.3 Rammkernbohrung

Rammkernbohrungen erfolgen in der Regel von fahrbaren Geräteträgern aus. Die Bohrdurchmesser von Rammkernbohrungen liegen zwischen 80 mm und 300 mm, die erreichbaren Bohrtiefen bei über 50 Meter. Der große Bohrdurchmesser erlaubt eine detaillierte Aufnahme des Untergrundprofils sowie eine repräsentative und tiefenorientierte Beprobung unterschiedlicher Bodenhorizonte oder -schichten bei meist hoher Probengüte und größeren Probenmengen.

Das Verfahren liefert im bindigen Lockergestein durchgehende Bohrkerne von meist guter Qualität, ist aber nicht für das Bohren im Fels geeignet. Im Grundwasser lassen sich bei bindigen Böden und feinkörnigen Sanden noch gute Ergebnisse erzielen. Rammkernbohrungen sind im Rahmen der Altlastenbearbeitung **immer ohne Spülung** durchzuführen (Trockenbohrverfahren). Ihr Einsatz erfolgt meist in der Detailuntersuchung zur Errichtung von Grundwassermessstellen, zum Aufschluss mächtiger Altablagerungen oder Auffüllungen sowie bei sehr grobkörnigen Böden.

Bei der Probenahme sind die Randbereiche beziehungsweise die Kontaktbereiche zum Bohrgestänge durch Abstechen der Kernränder großzügig abzutrennen (siehe Kapitel 5.2.2).

5.2.4 Rotationskernbohrung

Grundsätzlich sind bei Altlastenuntersuchungen nur Rotationskernbohrungen **ohne Spülung** (Trockenbohrverfahren) zulässig. Diese werden mithilfe von Einfachkernrohren ausgeführt und eignen sich vor allem für bindige und sandige Böden oder bindiges Lockergestein. Die Bohrdurchmesser liegen zwischen 65 mm und 200 mm, die erreichbaren Bohrtiefen bei rund 30 Meter.

Aufgrund des Drehvorgangs erfolgt eine Vermischung des Probengutes im Bereich der Kontaktzone zwischen Bohrkern und Entnahmerohr. Die Entnahme der Proben hat deshalb aus der weitgehend unbeeinflussten Kernmitte zu erfolgen.

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 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 den jeweils zu erwartenden Schadstoffen anzupassen.

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 zum Aufschluss von Altablagerungen. Schürfe liefern über einen größeren Bereich einen guten Einblick in den Untergrunderbau und gewährleisten die Entnahme von ausreichenden Probenmengen. Sie eignen sich zum Aufschluss grobkörniger Schichtabfolgen, insbesondere für die Probenahme bei heterogenen Auffüllungen mit hohem Anteil an grobkörnigen Bestandteilen. Mit Schürfen können Aufschlusstiefen von bis zu rund fünf Metern in standfesten Böden oberhalb des Grundwasserspiegels erreicht werden.

Die **Begehung von Schürfen** ohne Verbau und mit senkrechten Wänden zur Probenahme ist jedoch ohne weitere Schutzmaßnahmen aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen nur in Tiefen bis zu 1,25 Meter zulässig, wenn Fahrzeuge und Baugeräte die zulässigen Abstände einhalten, keine besonderen Gegebenheiten oder Einflüsse die Standsicherheit gefährden, keine baulichen Anlagen gefährdet werden und die Neigung des Geländes bei nichtbindigen Böden $\leq 1:10$, bei bindigen Böden $\leq 1:2$ beträgt [DIN 4124, 2012]. Vor der Begehung von Schürfen im Bereich von Deponien und Altablagerungen sind Gasmessungen (Methan, Kohlendioxid) dringend erforderlich, um eine Gefährdung des Probenahmepersonals auszuschließen. Bei tieferen Schürfen sind weitere Arbeitsschutz- und Sicherheitsmaßnahmen zu treffen (siehe [DIN 4124, 2012], [DIN 18303, 2016] und [DGUV 38, 1997]). Sollen tiefere Schürfe begehbar gemacht werden, führt dies zu einem deutlichen materiellen und finanziellen Mehraufwand.

Aus **begehbaren Schürfen** lassen sich horizontgenau beliebige Probenmengen in jeder Güte und Qualität gewinnen. Die Probenahme bei begehbaren Schürfen erfolgt unter besonderer Beachtung des Arbeitsschutzes und der Arbeitssicherheit direkt aus der Stirnfläche des Schurfs. Vor der Probenahme ist die Stirnseite zu säubern beziehungsweise frisch abzuschälen. Um Störungen durch herabfallendes Material zu minimieren und um Verschleppungen von Verunreinigungen zu vermeiden, ist die Entnahme der Proben von unten nach oben vorzunehmen. Die Lage der Probenahmestellen ist im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren. In der Regel ist eine Fotodokumentation vorzunehmen.

Bei **nicht begehbaren Schürfen** erfolgt die Probenahme direkt aus der Baggerschaufel. Eine genaue Zuordnung zu Horizonten ist dabei jedoch nur eingeschränkt möglich.

Bei der Untersuchung von Altablagerungen kann es zielführend sein, Material zunächst als Haufwerk neben dem Schurf aufzuschichten und daraus möglichst repräsentative Mischproben zu ziehen. Eine Untersuchung auf leichtflüchtige Schadstoffe ist hierbei nicht sinnvoll.

5.3 Probengewinnung

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

Beim Einsatz von Bohrgeräten sollte in Abhängigkeit der Aufschlussart der Innenrohrdurchmesser mindestens das **Drei- bis Fünffache des Größtkorndurchmessers** der zu beprobenden Bodenart betragen (siehe Tab. 4).

Beispiel: Eine Kleinrammbohrung mit einem Außendurchmesser von 80 mm und einem Innendurchmesser von 70 mm kann zur Beprobung von Böden mit einem Größtkorndurchmesser von maximal 14 mm (De/5; siehe Tab. 4) eingesetzt werden. Die Mittelkiesfraktion (Korndurchmesser bis 20 mm) kann in diesem Fall nicht mehr repräsentativ erfasst werden.

Sonden mit Durchmessern unter 50 mm (z. B. sog. Schlitzsondierungen) sind für die Entnahme von Bodenproben bei der Untersuchung von Altlasten und Altlastverdachtsflächen (Wirkungspfad Boden-Gewässer) **nicht** geeignet, da die beim Bohrvorgang verursachten Störungen an den Bohrkernrändern und Stauchungen des Bohrkerns nicht mehr tolerierbar sind. Kleinere Bohrdurchmesser und Handbohrungen eignen sich für die Entnahme von Einzelproben für den Wirkungspfad Boden-Mensch oder Boden-Nutzpflanze bis zu Tiefen von ca. 60 cm.

Das Probenmaterial sollte 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.

Für Probenahmegeräte sind nur Materialien geeignet, die weder Stoffe aus der Probe aufnehmen (Gefahr von Minderbefunden) noch an die Probe abgeben (Verunreinigung). Dies kann z. B. durch die Verwendung von unlackierten Edelstahlgeräten und -werkzeugen erreicht werden.

Die verwendeten Probenahmegeräte sind nach jeder Entnahme sorgfältig zu **reinigen** (mittels Bürsten, sauberen Tüchern und ggf. Wasser; bei organischen Verunreinigungen muss Wasser mit Reinigungsmittel und ggf. Aceton verwendet und mit klarem Wasser nachgespült werden), um Schadstoffverschleppungen und Querkontaminationen zu vermeiden. Generell ist auf größte Sauberkeit von Aufschlussgeräten und Probenahmegerätschaften zu achten.

Einsatzgeräte (z. B. Stromaggregate, kraftstoffbetriebene 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 können. Die Entnahme der Proben hat ebenso wie die Aufbewahrung der Probenbehälter vor Ort außerhalb der Abluftfahne von kraftstoffbetriebenen Bohraggregaten zu erfolgen.

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 und an der Innenwand des Bohrgestänges oder des Kunststoffschlauchs (bei Linerbohrungen) anhaftendes Material. Auch bei der Probenahme aus begehbaren Baggerschürfen ist das Material aus dem Kontaktbereich mit der Baggerschaufel vor der Probenahme zu entfernen. Bei der Beprobung von Baggerschürfen direkt aus der Baggerschaufel werden nach Abstreifen von 5–10 cm der Oberfläche des Schaufelinhaltes Einzelproben mithilfe eines Probenstechers/Bohrstocks (ggf. Schaufel) möglichst über die gesamte Tiefe entnommen [LAGA PN 98, 2001].

Die **Probenmenge** richtet sich nach dem Größtkorn des Materials. Analog [LAGA PN 98, 2001] und [DIN 19698-1, 2014] werden einzelne größere Stücke oder in einem geringen Prozentsatz (< 5 Vol.-%) enthaltene gröbere Fraktionen nicht zur Bestimmung des Größtkomponentendurchmessers herangezogen. Zur Gewährleistung einer repräsentativen und für die chemischen Laboruntersuchungen ausreichenden Probenmenge ist bei feinkörnigen Böden (Korngrößen bis 2 mm) in der Regel 0,5–1,0 l (entspricht ca. 0,8–1,6 kg) feldfrisches Probenmaterial erforderlich (siehe Tab. 5). Sollen Säulenversuche durchgeführt werden, sind hierfür mindestens 1 kg Probenmaterial vorzusehen. Bei grobkörnigen Materialien (meist inhomogenes Material oder Material mit hohem Skelettgehalt) sollte die Entnahmemenge auf ca. 4 kg erhöht werden, um eine ausreichende Menge an Feinkorn (≤ 2 mm) zu erhalten. Probenmengen für Rückstellproben sind mit zu berücksichtigen. Hinweise zur Gewinnung aus-

reichender Probenmengen (z. B. für Säulenversuche) aus Kleinrammbohrungen sind in Kapitel 5.1 aufgeführt.

| max. Korngröße [mm] | Mindestmenge | |
|------------------------|---------------------|------|
| | [l] | [kg] |
| ≤ 2 | 0,5 | 0,8 |
| > 2 bis ≤ 20 | 1 | 1,6 |
| > 20 bis ≤ 50 | 2 | 3,2 |
| > 50 bis ≤ 120 | 5 | 8,0 |
| > 120 | Stück = Einzelprobe | |

Tab. 5:
Mindestmengen der Einzel- und Mischproben in Abhängigkeit von der Korngröße (siehe [LAGA PN 98, 2001])

Hinweise, welche **Mindestprobenlängen** bei Sondierungen und Bohrungen in Abhängigkeit vom Größtkorn und vom Innendurchmesser des Entnahmerohrs für die Gewinnung von 1 kg Probe erforderlich sind, fasst die Tab. 6 zusammen.

Sollen Grobmaterialien, die möglicherweise Schadstoffe enthalten, für Einzelanalysen aufbereitet werden, sind hiervon repräsentative Anteile als Sonderproben zu entnehmen und die Massenanteile im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

Große Probenmengen, wie sie z. B. bei der Beprobung von Schürfen anfallen, erfordern eine **Teilung beziehungsweise Einengung** auf die in Tab. 5 genannte Menge. Dies kann z. B. mittels Riffelteiler, Mischkreuz, Probenstecher oder durch Vierteln erfolgen. Hierbei wird das Material auf eine Arbeitsunterlage (z. B. Edelstahlplatte) geschüttet, mit einer Schaufel durchmischt und zu einem Kegel aufgetürmt. Anschließend wird z. B. mittels eines Probenkreuzes so oft geviertelt, bis die erforderliche Endmenge erhalten wird. Weitere Hinweise zur Probenverjüngung finden sich beispielsweise in der [LAGA PN 98, 2001].

Tab. 6: Mindestprobenlängen für 1 kg Material in Abhängigkeit vom Bohrdurchmesser und vom Größtkorn (in Anlehnung an [ITVA-ARBEITSHILFE F 2-1, 1995])

| Außendurchmesser [mm] | Innenrohrdurchmesser [mm] | Größtkorn [mm] | Mindestprobenlänge [mm] ¹⁾ für 1 kg Material bei Dichte=1,6 kg/dm ³ |
|--------------------------|------------------------------|-------------------|--|
| 200 | 180 | 60 | 50 |
| 100 | 90 | 30 | 200 |
| 80 | 70 | 14 | 320 |
| 60 | 50 | 10 | 620 |
| 50 | 40 | 8 | 1000 |

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

Probenahme bei Verdacht auf flüchtige organische Schadstoffe:

Insbesondere bei der Untersuchung von Bodenproben auf **leichtflüchtige Schadstoffe** sind Bohrschritt und Entnahme des Probenmaterials aufeinander abzustimmen, d. h. das gewonnene Bohrgut ist unmittelbar nach dem Ziehen der Sonde und dem Abstreifen von randlichem Material und noch vor der Bodenansprache aufzuarbeiten. Andernfalls kann es durch Ausgasen flüchtiger Schadstoffe zu Minderbefunden kommen. Auch Oxidationsprozesse infolge längeren Kontaktes mit der Außenluft können Veränderungen des Schadstoffgehaltes im Probenmaterial hervorrufen.

Um die Ausgasung möglichst gering zu halten, ist die Bodenprobe als Einzelprobe aus einem möglichst ungestörten Bereich des frischen Bohrkerns beziehungsweise der frisch abgeschälten Schurfwand **ohne Aufbrechen des Materials und ohne Zeitverlust** zu entnehmen. Dies geschieht mithilfe von sog. Probenstechern oder abgeschnittenen Einweg-Kunststoffspritzen, die ca. 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 Lösungsmittels (z. B. Methanol) zu überschichten und gasdicht (PTFE-beschichtete Dichtungen oder Septen) zu verschließen (siehe auch [HLUG, 2000] und [DIN EN ISO 22155, 2016]). Die Ränder der Gläser sind unbedingt vor dem Verschließen von Verunreinigungen zu säubern, damit das Probenahmegefäß gasdicht verschlossen werden kann. Beim Transport von Methanol sind die einschlägigen Gefahrgutvorschriften zu beachten.

Auch durch den Einsatz von Schlauchkern- oder Linerbohrungen (siehe Kapitel 5.2.5) können bei der Probenahme Verluste von flüchtigen Stoffen weitgehend vermieden werden. Es ist zu beachten, dass das Schlauch- oder Linermaterial und die weitere Lagerung und Aufarbeitung der Bohrkernkerne den jeweils zu erwartenden Schadstoffen angepasst werden muss. Beispielsweise können leichtflüchtige organische Stoffe an das Schlauchmaterial adsorbieren.

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. Für Proben, die nur auf **anorganische Parameter** untersucht werden sollen, sind in der Regel Gefäße oder Beutel aus Polyethylen (PE) ausreichend. Bei flüchtigen organischen Schadstoffen sind entsprechend vorgereinigte und ausgeheizte gasdichte Gefäße zu verwenden.

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 bei der Untersuchungsstelle abzugeben. Es ist sicherzustellen, dass die Analyse zeitnah, bei Verdacht auf leichtflüchtige organische Schadstoffe spätestens bis 24 Stunden nach Probeneingang, erfolgt (Empfehlung des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU); siehe auch [HLUG, 2000] und [DIN EN ISO 22155, 2016]). Vorgaben zur maximalen Lagerungsdauer ab dem Zeitpunkt der Probenahme von Bodenproben bei unterschiedlichen Bedingungen und Untersuchungsparametern sind der [DIN ISO 18512, 2009] zu entnehmen. Probenlagerung, -transport und Art der Probengefäße sind im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

Hinweise zur Probenvorbehandlung finden sich im [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/5, 2017] und in der [DIN 19747, 2009].

5.4 Bodenansprache und Profilbeschreibung

Die Bodenansprache und die Profilbeschreibung sind wichtig für die Interpretation und Bewertung der Untersuchungsergebnisse. Die Bodenansprache hat unmittelbar nach dem Ziehen der Bohrkernkerne zu erfolgen. Vor der Bodenansprache sind Verschleppungen an den Bohrkernrändern oder entlang der Sondenöffnung, z. B. mittels eines Spachtels, senkrecht zur Längsachse des Bohrkerns zu entfernen.

Bei Verdacht auf leichtflüchtige Schadstoffe ist der Bohrkern erst **nach** der Probenahme anzusprechen (siehe auch Kapitel 5.3).

Nach Anhang 1 Nr. 1.1 [BBODSCHV, 1999] ist bei Altlastverdachtsflächen eine Bodenansprache auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 4. Auflage (KA 4, seit 2005 durch KA 5 ersetzt [BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005]) durchzuführen, in dem Umfang, der für die Gefahrenbeurteilung erforderlich ist. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat speziell für den Vollzug des BBodSchG einen Auszug der bodenkundlichen Kartieranleitung erarbeitet (Bodenkundliche Kartieranleitung – Auszug für den vor- und nachsorgenden Bodenschutz (**Kurz-KA 5**) [BGR, 2009]). Ein daraus entwickeltes und an die Altlastenbearbeitung angepasstes Muster-Probenahmeprotokoll findet sich im Anhang 3. Die Erläuterungen können der KA 5 beziehungsweise der Kurz-KA 5 entnommen werden. Weitere Hinweise enthält die [DIN 4220, 2008]. Um die Standortbeurteilung in dem Umfang durchzuführen, der für die Gefahrenbeurteilung erforderlich ist, sind je nach Fragestellung und Standort ggf. weitere relevante Feld- und Laborparameter (z. B. Hohlräume wie Risse und Poren, Anzeichen biologischer Aktivität) zu bestimmen und zu dokumentieren.

Von besonderer Relevanz ist die genaue Beschreibung altlastenbezogener Merkmale wie organoleptische Auffälligkeiten (Farbe, Geruch, Konsistenz, Auftreten von Schadstoffen in Phase usw.) und anthropogene Beimengungen (Art, Korngrößen, Farbe). Das Schichtenverzeichnis ist gemäß [BBODSCHV, 1999] nach der (Kurz-)KA 5 zu erstellen. Die grafische Darstellung des Profils erfolgt nach [DIN 19673, 2013].

Wenn parallel zur Altlasterkundung 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, 2007], [DIN EN ISO 14688-1, 2013] und [DIN EN ISO 14689-1, 2011] als Ersatz-Normen für die seit 2007 zurückgezogenen DIN 4021 und DIN 4022) unter Einbeziehung der Parameter der Kurz-KA 5 durchzuführen. Die grafische Darstellung des Profils kann dann nach [DIN 4023, 2006] erfolgen.

Insbesondere bei Bohrprofilen von Auffüllungen und bei Baggerschürfen ist in der Regel eine Fotodokumentation durchzuführen. 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 Bohr- und Entnahmeverfahrens, Probenbeschreibung sowie Angaben zum Probentransport und zur Lagerung) einzutragen sind.

Im Muster-Probenahmeprotokoll im Anhang 3 sind, in Anlehnung an die Empfehlungen der Kurz-KA 5, obligatorisch auszufüllende Datenfelder weiß hinterlegt. Die grau hinterlegten Felder sind nur bei Bedarf auszufüllen.

Die **Titeldaten** im Teil 1 des Muster-Probenahmeprotokolls umfassen alle Angaben zum Projekt und zur Gesamtuntersuchungsfläche, wie z. B. Projektbezeichnung und/oder -nummer, Katasternummer, 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 Entnahmeggerät, die Reinigung und die Mischprobenbildung.

Zur vollständigen Dokumentation gehören darüber hinaus die genaue **Profilbeschreibung** (Schichtenverzeichnis nach (Kurz-)KA 5 beziehungsweise auf Grundlage der [DIN EN ISO 14688-1, 2013] und [DIN EN ISO 14689-1, 2011] unter Einbeziehung der Parameter der Kurz-KA 5) [BGR, 2009] und die **grafische Darstellung** der aufgenommenen Profile (nach [DIN 19673, 2013] oder [DIN 4023, 2006]). Das Muster-Probenahmeprotokoll im Teil 3 des Anhangs 3 wurde in Anlehnung an die Kurz-KA 5 entwickelt und enthält die nach den Empfehlungen der Kurz-KA 5 für die Altlastenbearbeitung relevanten Angaben. Zu dokumentieren sind zudem organoleptische Auffälligkeiten, die eingesetzten Probengefäße sowie Angaben zu Probentransport und -lagerung.

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

6 Entnahme von Bodenluftproben

Bodenluftproben werden bei der Altlastenerkundung für die Untersuchung von Deponiegas auf seine Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid sowie Stickstoff, Sauerstoff und ggf. Schwefelwasserstoff oder zur Bestimmung von leichtflüchtigen organischen Schadstoffen (BTEX, LHKW, n-Alkane) verwendet. Die nachfolgenden Ausführungen orientieren sich an der [DIN ISO 10381-7, 2007] und der [VDI-RICHTLINIE 3865 BLATT 2, 1998] und beziehen sich schwerpunktmäßig nicht auf die Bestimmung von Deponiegasen.

Leichtflüchtige organische Schadstoffe im Untergrund unterliegen einer **Vielzahl von Einflüssen**, die ihr Mobilitäts- und Freisetzungsverhalten beeinflussen können. Hierzu gehören insbesondere die physikochemischen Eigenschaften der Bodenmatrix, die Schadstoffzusammensetzung sowie atmosphärische und hydrogeologische Einflüsse, welche z. B. die Bodenfeuchte steuern. Mit der räumlichen und/oder zeitlichen Variabilität dieser Einflussfaktoren können auch die Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft variieren. Zudem stellt jede Probenahme, insbesondere die Probenahme des flüchtigen Messmediums Bodenluft, einen Eingriff in das betrachtete System dar und führt zwangsläufig zu Artefakten. Hieraus ergibt sich, dass sowohl die natürlichen Einflussfaktoren als auch der Einfluss der Probenahme auf die Ergebnisse zu berücksichtigen sind. Die strikte Einhaltung von Qualitätssicherungsstandards bei der Bodenluftprobenahme ist daher zwingend erforderlich.

Die **Auswahl der Probenahmetechniken und Probengefäße** hängt im Einzelfall von der Fragestellung (z. B. Vergleichbarkeit mit früheren Messungen, besonders flüchtige Komponenten, Kleinstmengenentnahme aus wenig durchlässigen Böden) ab. Von der probenehmenden Untersuchungsstelle sollte der Nachweis von hinreichenden Kenntnissen und Erfahrungen (Sachkunde) hinsichtlich der eingeforderten Probenahmetechnik und dem Umgang mit den Probenahmegefäßen erbracht werden. Das beauftragte Labor sollte die Probengefäße zur Verfügung stellen, damit die Notwendigkeit einer Umfüllung der Proben in analysengerätkonforme Gefäße ausgeschlossen werden kann. Da die Arbeitsschritte detailliert zwischen Auftraggeber, Sachverständigen, probenehmender Untersuchungsstelle und Labor abzustimmen sind, wird eine gemeinsame Beauftragung von Probenahme, Analyse und Gutachten empfohlen.

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

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

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

6.1 Bodenluftmessstellen

6.1.1 Temporäre Messstellen

Temporäre Bodenluft-Messstellen eignen sich zur einmaligen Probenahme. Hierzu wird mittels Kleinrammbohrung (35 bis 80 mm Durchmesser) oder anderer geeigneter Verfahren ein Bohrloch erstellt. Für die Bodenluftabsaugung wird in das Bohrloch ein Entnahmesystem (Sonde, Absauglanze) eingebracht. Dies erfolgt entweder einstufig in einem Arbeitsschritt (Bodenluftentnahmesystem befindet sich im Inneren des Sondiergestänges und wird mit diesem abgeteuft oder anschließend in letzterem platziert) oder in zweistufig (Abteufen und Ziehen des Sondiergestänges und anschließende Platzierung des Entnahmesystems im Sondierloch). Bohrwerkzeug und Entnahmesystem sind aufeinander abzustimmen.

Der zu beprobende Bereich des Sondierlochs ist in jedem Fall vor Entnahme der Bodenluft gegen die Atmosphäre abzudichten. Dies erfolgt in der Regel über Packersysteme oder mit Quellton. Ein **gasdichtes Abschließen sowohl gegen die Sonde wie auch gegen die Wand des Sondierloches ist sicherzustellen**. 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 Dichtungskeile. Diese können deshalb ausschließlich im begründeten Einzelfall (z. B. beim selten angewandten Verfahren der integrierenden Bodenluftprobenahme bei niedrigem Unterdruck und Anreicherung auf Aktivkohle gemäß Variante 2 in Nr. 3 [VDI-RICHTLINIE 3865 BLATT 2, 1998]) 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.

Wird die Bodenluft am Bohrlochtieftsten unter Nutzung des Neumayer-Verfahrens entnommen, ist eine Abdichtung des Bohrloches verfahrensseitig nicht vorgesehen.

Das Bohrprofil ist bei den zweistufigen Verfahren aufzunehmen und im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren (siehe Kapitel 6.3). Nach Abschluss der Probenahme ist das Bohrloch wieder zu verfüllen (z. B. mit Quellton oder Zement/Bentonit, siehe Kapitel 2.8).

6.1.2 Stationäre Messstellen

Stationäre Bodenluftmessstellen sind ortsfeste Probenahmestellen für die Entnahme von Bodenluft oder Deponiegas. Sie ermöglicht die Beprobung von Bodenluft/Deponiegas am selben Ort unter annähernd gleichen Randbedingungen über einen längeren Zeitraum. Mit stationären Bodenluftmessstellen werden in der Regel Horizonte zwischen einem Meter unter Geländeoberkante 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. Eine Wiederverwendung in anderen Messstellen ist allerdings zu unterlassen. Andernfalls werden bevorzugt Stahlrohre eingesetzt.

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 Stahl sollte den Anschluss einer Probenahmeverrichtung ermöglichen. Der Innenrohrdurchmesser sollte **mindestens DN 25** betragen. In der Regel wird nach dem Vollrohr ab 1,5 Meter unter GOK ein Filterrohr eingebaut.
- Beim Einbau der Verrohrung sind **gasdichte Verbindungsmuffen** zu verwenden, um das Eindringen atmosphärischer Luft oberhalb der Filterstrecke zu vermindern.
- Die Messstelle ist mit einer Kappe oder einem Stopfen (aus Kunststoff oder Stahl) nach oben gasdicht 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 der Schlitzweite des Filterrohres angepasste Filterpackung aus trockenem Sand oder Kies einzubringen.

gen. Der Einbau geeigneter Dichtungsmaterialien in bestimmte Tiefenzonen ermöglicht eine tiefenorientierte Beprobung.

- Die Filterstrecke sollte im Normalfall erst ca. **1,5 Meter unter GOK** beginnen, um den Zutritt von Außenluft weitgehend auszuschließen. Filterstrecken in stationären Bodenluftmessstellen sind so zu wählen, dass sie die kontaminierten Bodenhorizonte erfassen.
- Das Bohrloch ist 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 Kapitel 5.4 beschrieben, aufzunehmen.

6.2 Gassammelbehältnisse und Adsorptionsröhrchen

6.2.1 Headspace-Gläschen

Headspace-Gläschen² 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-kaschierter Butylkautschukseptum mittels einer speziellen Crimpzange verbördelt werden, haben sich in der Praxis als ausreichend dicht erwiesen. Bei der Planung ist sicherzustellen, dass die verwendeten Gläser für den automatischen Probengeber (Autosampler) des Gaschromatografen im Labor geeignet sind. Es sind Gläser in der richtigen Größe und ggf. mit spezieller Kappe, falls der Probengeber über ein Magnet-Greifsystem verfügt oder eine bestimmte Geometrie erfordert, zu verwenden.

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.

6.2.3 Glaspipetten

Damit sind gläserne Pasteurpipetten gemeint, deren hintere (weitere) Öffnung zugeschmolzen wurde. Somit ergibt sich ein Probenahme-Volumen von ca. 1 bis 2 Milliliter. 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 ein 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 darüber hinaus andere Gassammelbehälter oder Verfahren zum Einsatz, ist deren Gleichwertigkeit nachzuweisen.**

² Im Folgenden wird einheitlich der Begriff Headspace-Gläschen verwandt. Andere Begriffe für die hiermit gemeinten Gassammelbehälter sind Septumgläser (aus DIN ISO 10381-7 und VDI 3865 Blatt 2), Rollrandgläser oder Vials.

6.2.5 Adsorptionsröhrchen

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

6.3 Vorgehensweise bei der Bodenluftentnahme

Grundsätzlich können Verfahren, welche die Bodenluft punktuell oder integrierend entnehmen, unterschieden werden. Die Ergebnisse integrierender und punktueller Bodenluft-Probenahmeverfahren sind aufgrund der unterschiedlichen Betrachtungsvolumina des Porenraums nicht vergleichbar.

Für die Entnahme von Bodenluftproben sind folgende Geräte erforderlich:

- Entnahmesonde
- Absaugvorrichtung mit regelbarem Volumenstrom
- Volumenstrommessgerät
- Gassammelbehältnisse beziehungsweise Reagenzien zur Schadstoffsorption
- Geräte für die Messung der Kohlendioxid, Methan-, Sauerstoff- 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. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Entnahmeverfahren sind unter Umständen nicht miteinander vergleichbar. Werden unterschiedliche Verfahren an einem Standort eingesetzt, ist dies bei vergleichenden Betrachtungen der Schadstoffbefunde (z. B. zeitlich versetzte Probenahmen im Rahmen eines Monitoring) zu beachten.

Um eine möglichst einheitliche Vorgehensweise bei der Bodenluftprobenahme zu erreichen, sind bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen in der Regel folgende Randbedingungen einzuhalten (Anwendung teilweise abhängig vom Entnahmeverfahren):

- Die Bodenluftprobenahme sollte spätestens zwei Stunden nach Fertigstellung des Bohrlochs erfolgen.
- Die mit Saugpumpen betriebenen Probenahmesysteme sind vor jeder Probenahme innerhalb einer Beprobungskampagne einer Dichtigkeitsprüfung (von der Ansaugöffnung der Sonde bis zur Ansaugöffnung der Pumpe) nach [DIN ISO 10381-7, 2007] zu unterziehen. Die Prüfung ist im Probenahmeprotokoll zu vermerken.
- Die **Permanentgasdetektoren** haben die für die Bodenluft relevanten Messbereiche zuverlässig zu umfassen. Dies gilt insbesondere für die Kohlendioxiddetektoren, welche Konzentrationen ab 0,5 Vol.-% sicher erfassen können.
- Die Bodenluftentnahme ist über ein in ein vorgebohrtes Sondierloch eingeführtes Entnahmesystem durchzuführen, über das mittels einer Pumpe die Bodenluft angesaugt wird. Beim Anreicherungsverfahren ist die Pumpe während der Probenahme strömungskonstant zu betreiben. Um sicherzustellen, dass keine atmosphärische Luft die Bodenluftprobe beeinflusst, ist die Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration in der Bodenluft kontinuierlich zu **messen und im zeitlichen Verlauf zu dokumentieren**.

Der Kohlendioxidgehalt der Bodenluft (ca. 1–10 Vol.-%) ist aufgrund mikrobieller Abbauprozesse in der Regel höher als in der Außenluft (ca. 0,03 Vol.-%). Es gibt jedoch Substrate, welche einen im Vergleich zur Außenluftkonzentration nur gering erhöhten Kohlendioxidgehalt aufweisen. Ein Nachweis der Förderung von Bodenluft ohne signifikanten Außenlufteinfluss ist in diesen Fällen nicht gegeben. Unter Umständen kann die Sauerstoffmessung ergänzende Hinweise geben.

- Die **Mindestprobenahmetiefe beträgt ein Meter** unterhalb der GOK. Eine Bodenluftprobenahme im Bereich des Kapillarsaums oberhalb der Grundwasseroberfläche ist nicht zielführend. Ein Mindestabstand von einem Meter zur Grundwasseroberfläche ist in jedem Fall einzuhalten.
- Das Bohrloch ist gegen das Eindringen von atmosphärischer Luft **abdichten** (z. B. mit Quelltou, Packer). Bei Einsatz von Packern, die mit Schaumstoff umhüllt sind, können Schadstoffverschleppungen stattfinden. Ein dementsprechender Wechsel des Schaumstoffmaterials ist regelmäßig vorzunehmen.
- Der **Unterdruck** 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 **unmittelbar bei Erreichen der maximalen Kohlendioxidkonzentration** in der Bodenluft vorzunehmen. Zeigt die CO₂-Konzentration substratbedingt niedrige Werte im Bereich der CO₂-Atmosphärenkonzentration und ist das CO₂-Maximum als Probenahmekriterium daher nicht zielführend, ist dies zu dokumentieren und alternativ mindestens das doppelte Totvolumen der Sonde (beziehungsweise Volumen des Bohrlochs) vor der Probenahme auszutauschen. Wird das CO₂-Maximum auffallend schnell, zum Beispiel bereits deutlich vor dem doppelten Austausch des Sonden- oder Bohrlochvolumens, erreicht, sollte ein möglicher Zutritt von Außenluft über Undichtigkeiten (z. B. Dichtkegel oder Packer) überprüft werden.
- Um mögliche Kondensationseffekte an der Innenwandung, z. B. der Probengefäße und der Schlauchwandungen zu vermeiden, sollte zum Probenahmezeitpunkt die **Außenlufttemperatur über der Bodenlufttemperatur** liegen, **sie darf jedoch 5 °C nicht unterschreiten**.
- 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 Durchbruchindikator-Schicht 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.
- Alle mit der Bodenluft in Kontakt gekommenen Bauteile des Entnahmesystems sind vor der Wiederverwendung (von Messpunkt zu Messpunkt) idealerweise **durch Rückspülen mit Heiß-**

luft zu dekontaminieren. Verbindungsschläuche und Leitungen von der Sonde zur Pumpe und/oder zum Adsorptionsmittel sind möglichst kurz zu halten und häufig zu erneuern. Im Zustrom zur Probenahmestelle sind im System **keine Schläuche aus Silikon** zulässig.

- Zur Prüfung auf Kontaminationsfreiheit ist zwischen einzelnen Probenahmen, mindestens jedoch **eine Blindprobe je Probenahmekampagne** zu nehmen und auf die relevanten Kontaminanten zu analysieren. Diese Ergebnisse sind Bestandteil der Dokumentation.
- Die vorgenannten Randbedingungen sind einzuhalten und zu dokumentieren. Erfolgt dies nicht, sind die Bodenluftbefunde nicht reproduzierbar entnommen und daher nicht bewertbar.
- 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 aufgrund der Verfahrensspezifik nicht anwendbar.
- Probenahmegeräte und -gefäße dürfen nicht in Räumen gelagert oder in Fahrzeugbereichen transportiert werden, in denen Lösungsmittel oder Kraftstoffe aufbewahrt werden.
- Wird von der beschriebenen Vorgehensweise im Einzelfall abgewichen, ist dies im Vorfeld mit der zuständigen Fachbehörde abzustimmen.

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 Kapitel 7). Die Direktmessung vor Ort hat den Vorteil, dass die Ergebnisse sofort vorliegen und die Anzahl der Proben, die ins Labor transportiert werden müssen, deutlich reduziert werden kann. Der apparative Aufwand vor Ort ist jedoch deutlich höher als bei der herkömmlichen Probenahme und ist dementsprechend auch meist mit höheren Kosten verbunden.

Bei der Probengewinnung über den Zwischenschritt der **Gassammlung** sind nachfolgend das Abfüllen in **Minican** sowie **Headspace-Gläschen** erläutert. Kommen andere Gassammelbehälter oder Verfahren zum Einsatz, ist deren Gleichwertigkeit nachzuweisen:

- **Abfüllen von Bodenluftproben in Minican:**

Die Aluminium-Sammelgefäße mit dem Volumen von einem Liter werden vor der Probenahme im Labor ausgeheizt und direkt anschließend evakuiert. Der maximal zulässige Restdruck vor der Probenahme beträgt 80 mbar (absolut). Wird vor Ort ein höherer Druck gemessen, dann darf das Sammelgefäß nicht eingesetzt werden. Die Einhaltung der Begrenzung des Restdruckes ist mit einem geeigneten Manometer zu prüfen und zu **dokumentieren**. Die Dichtigkeit der bei der Probenahme verwendeten geeigneten Ventile ist vorab zu prüfen. Sicherzustellen ist, 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.** Eine Kühlung der Sammelgefäße hat zu unterbleiben. Im Laborbereich hat die Überführung der Bodenluft in den Gaschromatografen nach Temperierung des Sammelgefäßes verlustfrei zu erfolgen. Werden Bodenluft-Proben im Labor in andere Gefäße (z. B. Headspace-Gläschen) umgefüllt, dann ist dieser Umfüllschritt vorab detailliert in einer Standardarbeitsanweisung zu beschreiben und zu validieren. Die Messergebnisse dieser Validierung sind zu dokumentieren.

- **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 im verschlossenen Headspace-Gläschen enthaltene Umgebungsluft kann entweder durch Spülung oder durch Evakuierung entfernt werden.

Beim **Spülverfahren** wird das Septum mit zwei Kanülen durchstochen. Eine Öffnung besteht aus einer offenen Kanüle und dient als Austrittsöffnung. Über die andere Öffnung wird durch eine Kanüle 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 und das Spritzen- und Septenvolumen sind zu dokumentieren.

Alternativ ist vor Ort die **Evakuierung** entsprechend Kapitel 6.7.2 [DIN ISO 10381-7, 2007] durchzuführen und zu dokumentieren. Der Einsatz laborseitig evakuierter Headspace-Gläschen wird nicht empfohlen. Die Bodenluft wird nach Durchstechen des Septums aus der Spritze selbsttätig angesaugt. Das angesaugte Volumen sowie das Volumen des Headspace-Gläschens sind zu dokumentieren.

Bodenluftproben aus Headspacegläsern sind **spätestens am Tag nach der Probenahme zu analysieren**. Eine Kühlung der Headspace-Gläschen ist zu unterlassen.

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 Probenahme-Gerätschaft 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 Luft über Adsorptionsröhrchen gesaugt, die bestimmte Spureninhaltsstoffe der Bodenluft anreichern. 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. zweites Adsorptionsröhrchen in Reihe) durchgeführt werden (siehe unten).

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 Lösungsmitteln (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 CS₂ als Extraktionsmittel verwendet wird.

Bei der Probengewinnung ist Folgendes zu beachten:

Für die Probenanreicherungen an Adsorptionsröhrchen ist in der Regel ein Probenahmenvolumen von fünf Litern bei einer Saugrate von maximal 1 l/min empfehlenswert.

- Grundsätzlich sollen bei Bodenluftuntersuchungen **Aktivkohleröhrchen mit Sicherheitszone** verwendet werden. Typ und Hersteller sowie Extraktionsmittel sind anzugeben.
- **Verbindungsschläuche und Leitungen** stromwärts vor den Adsorptionsröhrchen müssen aus adsorptionsarmen Materialien bestehen (PTFE, PE, PP, Viton), sind möglichst kurz zu halten und sind regelmäßig nach jeder Probenahmekampagne oder vor Untersuchungen auf einem neuen Standort zu ersetzen.
- 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 höchstbelasteten Probe feststellbar, kann auf die Analyse weiterer nachgeschalteter Röhrchen der geringer belasteten Proben verzichtet werden.
- 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, analog den beladenen Adsorptionsröhrchen, zum und vom Probenahmeort transportiert und unter identischen Bedingungen gelagert. Am Probenahmeort werden sie in das Probenahmesystem eingebunden und mit reiner Umgebungsluft beaufschlagt. Alternativ lassen sich Verluste bei der Lagerung und dem Transport auch 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 in der Regel 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 der Tabelle 1 im Anhang 1 des [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001] 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. Bei der Bodenluftprobenahme sind daher neben den Standortdaten die Angaben zur Aufnahmesituation und die Beschreibung von Probengewinnung, -transport und -lagerung von besonderer Bedeutung.

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

- Grundsätzlich gilt, dass für jede Bodenluftmessstelle das Bodenprofil aufzunehmen und entsprechend der (Kurz-)KA 5 beziehungsweise auf Grundlage der Normen für geotechnische Erkundung ([DIN EN ISO 22475-1, 2007], [DIN EN ISO 14688-1, 2013] und [DIN EN ISO 14689-1, 2011] als Ersatz-Normen für die seit 2007 zurückgezogenen DIN 4021 und DIN 4022) unter Einbeziehung der Parameter der Kurz-KA 5 zu beschreiben ist. Die Profilaufnahme (Schichtenverzeichnis sowie die grafische Darstellung des Bohrprofils) ist dem Bodenluftprobenahmeprotokoll beizulegen.
- Bei stationären Bodenluftmessstellen ist dem Probenahmeprotokoll zusätzlich der Ausbauplan beizulegen.
- Die **Standortbeschreibung** und die Bezeichnung der **Entnahmestelle** hat analog Kapitel 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, Bodentemperatur, 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 Bohrlochdurchmesser, Totvolumen der verwendeten Sonden, Bohr- und Entnahmetiefen, Bohrlochausbau und -abdichtung, Einsatz kraftstoffbetriebener Geräte) ist zu dokumentieren.
- Angaben zu Volumenstrom, Durchflussrate und -menge, Unterdruck, Absaugdauer, Entnahmevolumen und **zeitlicher Verlauf** der Permanentgase sind ebenfalls ins Probenahmeprotokoll mit 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

Nach einer Definition der US Environmental Protection Agency (EPA) (EPA 510-B-97-001/1997) werden unter dem Begriff „Direct-Push-Verfahren“ (DP-Verfahren) Technologien verstanden, mit deren Hilfe man Boden, Bodenluft und Grundwasser entnehmen, sowie darüber hinaus geologische, geophysikalische und chemische Daten in-situ erheben kann. Das Verfahren wird wegen geringer Sondendurchmesser (übliche Durchmesser für Sonden beziehungsweise das Gestänge betragen zwischen 35 mm bis maximal 80 mm) als minimal invasiv bezeichnet. Hinweise zur Anwendung von Direct-Push-Verfahren zur Entnahme von Grundwasser enthält das [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/6, 2010].

DP-Verfahren wurden entwickelt, um Untergrundkontaminationen 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 der schadstoffdetektierenden Sonden, das vorliegende Untersuchungskonzept schneller an die aktuelle Erkenntnislage anzupassen und somit den Erkundungsprozess zu optimieren. DP-Verfahren können konventionelle Probenahmeverfahren aufgrund der oftmals geringeren Repräsentativität nicht ersetzen, sondern diese lediglich ergänzen.

Der Hauptanwendungsbereich von DP-Verfahren in der Altlastenerkundung 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 nur für wenige Technologien vorhanden. In [DIETRICH ET AL., 2005], [GERSTNER ET AL., 2008], [LUA, 2004], [LEVEN ET AL., 2010] und [UMWELTBUNDESAMT, 2016] wird ein Überblick über gängige DP-Verfahren sowie deren Vor- und Nachteile gegeben. [BÖRKE ET AL., 2008], [GRANDEL ET AL., 2008], [TEUTSCH, 2008] und [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/3, 2015] geben Handlungsempfehlungen für die Anwendung von DP-Verfahren im Zusammenhang mit der Erkundung von Natural Attenuation-Prozessen.

In den folgenden Kapiteln 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 [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/6, 2010] finden sich weitere DP-Verfahren zur Bestimmung hydraulischer Parameter oder zur Messung speziell im Grundwasser.

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 z. T. erheblich. Sie reichen von wenigen Metern bei handgesteuerten Bohrhammern bis zu einigen Zehner Metern bei den statischen Verfahren. Insbesondere die Anwendung von CPT-Sonden (siehe Kapitel 7.2) ist nur mit statischem Vortrieb zielführend.

7.2 Sonden zur beprobungslosen Erkundung

Zur beprobungslosen Erkundung des Untergrundes werden geotechnische und schadstoffdetektierende Sonden eingesetzt. In Kombination ermöglichen sie die Untersuchung der Verteilung organischer 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 Sonden; CPT-Sonden) zur Ermittlung von Mantelreibung und Spitzendruck beziehungsweise Reibungsverhältnisse
- Leitfähigkeitssonden zur Ermittlung der elektrischen Gesteinsleitfähigkeit
- Soil Moisture Probe Sonden (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, chemische Zusammensetzung etc. durch natürliche oder induzierte (Gamma)-Strahlung

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

Die gebräuchlichsten **schadstoffdetektierenden Sonden** sind die Membrane Interface Probe (MIP), die Laser Induced Fluorescence Sonde (LIF-Sonde) und die Röntgen-Fluoreszenz Sonde (XRF-Sonde), die im Folgenden näher beschrieben werden. Ein Abgleich der mithilfe von schadstoffdetektierenden Sonden ermittelten Schadstoffgehalte mit Beurteilungswerten (z. B. Hilfswerte aus dem [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001]) ist derzeit nicht anwendbar.

MIP-Sonden werden für den Nachweis von leicht- bis mittelflüchtigen Substanzen (BTEX, LHKW, niedrigsiedende MKW) eingesetzt. Bei diesem Verfahren werden die flüchtigen organischen Substanzen (VOC) in der Sondenumgebung durch einen Heizblock stark erhitzt (ca. 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 (GC) überführt. Der GC 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 dabei emittierte Fluoreszenzstrahlung wird von der Sonde detektiert. Es sind mehrere Sensoren verfügbar, die unterschiedliche Lichtwellenlängen detektieren. Die gemessene Summenfluoreszenz kann spektral aufgelöst und in definierten Wellenlängenbereichen quantifiziert werden. Die Intensität in diesen Wellenlängenbereichen wird in Prozent relativ zu einem als Standard definierten Aromatengehalt an-

gegeben. Auf diese Weise können unter Umständen unterschiedliche Kohlenwasserstoffgemische identifiziert werden. Die Ergebnisse der Untersuchung sind stark vom geologischen Untergrunderbau abhängig.

XRF-Sonden (auch RFA-Sonden) werden eingesetzt um 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 Untergrunderbau 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 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 die erhöhte Gefahr von Stauchungen und von Verschleppungen an den Wänden des Probenahmerohrs. Der Aspekt der Repräsentativität ist daher besonders kritisch zu hinterfragen. Außerdem ist die Anwendung in der Regel 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 leichtflüchtigen organischen Schadstoffen (VOC) im Boden und Grundwasser bestimmt werden. Das Verfahren eignet sich vor allem für die Orientierende Untersuchung, kann aber auch in der Detailuntersuchung zweckmäßig eingesetzt werden.

7.4 Vorgehensweise bei der Standorterkundung mit DP-Verfahren

Um die DP-Verfahren fachlich zielführend und kostensparend einzusetzen, sind eine detaillierte Planung und die Ausarbeitung einer langfristigen Untersuchungsstrategie von großer Bedeutung. Im Hinblick darauf wird die Einhaltung folgender Vorgehensweisen/Eckpunkte dringend 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 festlegen 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 jedoch eindeutige Aussagen zur Lage der Grundwasseroberfläche. Dies sollte mit 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 dem Verfahrensanbieter vor Auftragsvergabe im Hinblick auf die Bewertung der Einsetzbarkeit der Technologie zur Verfügung zu stellen. Es ist zu berücksichtigen, dass nach derzeitigem Stand DP-Technologien **in der Regel nur im Lockergestein** zur Anwendung kommen. Die Verfahren sind nur eingeschränkt beziehungsweise nicht einsetzbar in kiesigen Sedimenten, bei Anwesenheit von Steinen im Untergrund oder in Festgesteinen. Auch stark bindige Schichten sind unter Umständen schwer 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 der Schadstoffausbreitung im Untergrund) ist entsprechend dem jeweiligen Kenntnisstand auszuformulieren.
- Im Ergebnis dieser Vorarbeiten ist 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, Erkundungsteufen etc.) zu formulieren. Dies sollte vor Auftragsvergabe in enger Abstimmung mit dem DP-Verfahrensanbieter erfolgen, um die technische Durchführbarkeit der Untersuchungen und generell die Realisierbarkeit des Erkundungsziels abzustimmen. Dabei ist dringend zu empfehlen, die fachliche Betreuung der DP-Erkundung in allen Phasen durch Sachbearbeiter, die mit der DP-Technologie vertraut und erfahren sind, vornehmen zu lassen.

7.5 Qualitätssicherung und Dokumentation

Einsatz schadstoffdetektierender Sonden

Der Einsatz der DP-Technologie dient in der Regel 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 Sondierloches vermieden werden. Kommen jedoch beispielsweise vor der Grundwasserprobenahme an einem Bohrloch schadstoffdetektierende Sonden zum Einsatz und wird dasselbe Bohrloch zur Bodenluftprobenahme nachgenutzt, ist es gegen Nachfall zu schützen und abzudecken.

Die Qualitätskriterien für eine Bodenprobenahme gemäß Kapitel 5 und eine Bodenluftprobenahme gemäß Kapitel 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.
- Ergebnisse von schadstoffdetektierenden Sonden sind anhand von Profilen der Detektorsignale und der geotechnischen Signale grafisch darzustellen. Die Bereiche der Boden- und Bodenluftprobenahme(n) sind anzugeben.

- Alle Arbeiten zur Vorbereitung der Bodenluftprobenahme (z. B. die Messstellenentwicklung) und der gesamte Entnahmeprozess sind umfassend zu dokumentieren. Es sind Bodenluftprobenahmeprotokolle zu führen, deren Informationsgehalt mindestens dem in Anlage 4 aufgeführten Muster-Probenahmeprotokoll entspricht. Darüber hinaus sind alle Besonderheiten des Probenahmeverfahrens zu dokumentieren.

Literaturverzeichnis

Bei den hier angegebenen Verordnungen und Regelwerken gilt grundsätzlich die aktuelle Fassung. Die aufgeführten LfU-Merkblätter können im Internet unter <http://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/index.htm> heruntergeladen werden.

[ALA UA QS, 2002]

LABO BUND-/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ ALA ALTLASTENAUSSCHUSS UA QS UNTER-AUSSCHUSS ARBEITSHILFE FÜR QUALITÄTSFRAGEN BEI DER ALTLASTENBEARBEITUNG: ARBEITSHILFE QUALITÄTSSICHERUNG; 2002.

[ARBSCHG, 1996]

GESETZ ÜBER DIE DURCHFÜHRUNG VON MAßNAHMEN DES ARBEITSSCHUTZES ZUR VERBESSERUNG DER SICHERHEIT UND DES GESUNDHEITSSCHUTZES DER BESCHÄFTIGTEN BEI DER ARBEIT, ARBSCHG – ARBEITSSCHUTZGESETZ VOM 7. AUGUST 1996; BGBl. I 1996 S. 1246. ZULETZT GEÄNDERT DURCH ARTIKEL 427 DER VERORDNUNG VOM 31. AUGUST 2015 (BGBl. I S. 1474).

[BAUSTELLV, 1998]

VERORDNUNG ÜBER DIE SICHERHEIT UND GESUNDHEITSSCHUTZ AUF BAUSTELLEN (BAUSTELLV) 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.

[BAYBODSCHG, 1999]

BAYERISCHES BODENSCHUTZGESETZ VOM 23.02.1999; GVBl. NR. 5/1999, S. 36 FF, DAS ZULETZT DURCH § 2 NR. 17 DES GESETZES VOM 12. MAI 2015 (GVBl. S. 82) GEÄNDERT WORDEN IST.

[BAYBODSCHVwV, 2000]

VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM VOLLZUG DES BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENRECHTS IN BAYERN VOM 11.07.2000; ALLMBL. NR. 14/2000 VOM 31.07.2000.

[BAYWG, 2010]

BAYERISCHES WASSERGESETZ (BAYWG) VOM 25. FEBRUAR 2010 (GVBl. S. 66, BER. S. 130), BAYRS 753-1-U, DAS ZULETZT DURCH ART. 9A ABS. 12 DES GESETZES VOM 22. DEZEMBER 2015 (GVBl. S. 458) GEÄNDERT WORDEN IST.

[BBodSCHG, 1998]

BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ VOM 17.03.1998; BGBl. I Nr. 16 VOM 25.03.1998, S. 502, DAS ZULETZT DURCH ARTIKEL 3 ABSATZ 3 DER VERORDNUNG VOM 27. SEPTEMBER 2017 (BGBl. I S. 3465) GEÄNDERT WORDEN IST.

[BBodSCHV, 1999]

BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG VOM 12.07.1999; BGBl. I Nr. 36 VOM 17.07.1999, S. 1554 FF., DIE DURCH ARTIKEL 3 ABSATZ 4 DER VERORDNUNG VOM 27. SEPTEMBER 2017 (BGBl. I S. 3465) GEÄNDERT WORDEN IST.

[BGR, 2009]

AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN DER STAATLICHEN GEOLOGISCHEN DIENSTE UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE: ARBEITSHILFE FÜR DIE BODENANSPRACHE IM VOR- UND NACHSORGENDEN BODENSCHUTZ, AUSZUG AUS DER BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG KA5, HRSG. BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE IN ZUSAMMENARBEIT MIT DEN STAATLICHEN GEOLOGISCHEN DIENSTEN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND UND UNTER MITWIRKUNG VON FACHKOLLEGEN AUS DEM BODENSCHUTZ, 1. AUFLAGE, 2009.

[BioStoffV, 2013]

VERORDNUNG ÜBER SICHERHEIT UND GESUNDHEITSSCHUTZ BEI TÄTIGKEITEN MIT BIOLOGISCHEN ARBEITSTOFFEN (BIOSTOFFVERORDNUNG – BioStoffV) VOM 15.07.2013 (BGBl I 2013, 2514), DIE ZULETZT DURCH ARTIKEL 146 DES GESETZES VOM 29. MÄRZ 2017 (BGBl. I S. 626) GEÄNDERT WORDEN IST.

[BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005]

BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG. KA5. AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND; 5., VERB. UND ERW. AUFL., BERICHTIGTER NACHDRUCK. STUTTGART: SCHWEIZERBART, 2005.

[BÖRKE ET AL., 2008]

BÖRKE, P., HÜSERS, N., WERNER, P. (EDS.): LEITFADEN KORA-THEMENVERBUND 2: NATÜRLICHE SCHADSTOFFMINDERUNG BEI TEERÖLALTLASTEN. TU DRESDEN: 40-59, 2008.

[DGUV 38, 1997]

DGUV VORSCHRIFT 38 UNFALLVERHÜTUNGSVORSCHRIFT BAUARBEITEN VOM 1. APRIL 1977, IN DER FASSUNG VOM 1. JANUAR 1997.

[DGUV REGEL 101-004 (BISHER BGR 128), 2006]

HAUPTVERBAND DER GEWERBLICHEN BERUFGENOSSENSCHAFTEN: FACHAUSSCHUSS TIEFBAU DER BGZ (2000): BERUFGENOSSENSCHAFTLICHE REGELN FÜR SICHERHEIT UND GESUNDHEIT BEI DER ARBEIT – BG-REGELN 128 – KONTAMINIERTER BEREICHE; ERSTE AUSGABE APRIL 1997, AKTUALISIERTE FASSUNG 2006.

[DIETRICH ET AL., 2005]

DIETRICH, P., LEVEN, C.: DIRECT PUSH TECHNOLOGIES. IN: KIRSCH (ED.) GROUNDWATER GEOPHYSICS, SPRINGER VERLAG, 321-340, 2005.

[DIN 18299, 2016]

VOB VERGABE- UND VERTRAGSORDNUNG FÜR BAULEISTUNGEN - TEIL C: ALLGEMEINE TECHNISCHE VERTRAGSBEDINGUNGEN FÜR BAULEISTUNGEN (ATV) - ALLGEMEINE REGELUNGEN FÜR BAUARBEITEN JEDER ART; SEPTEMBER 2016.

[DIN 18303, 2016]

VOB VERGABE- UND VERTRAGSORDNUNG FÜR BAULEISTUNGEN - TEIL C: ALLGEMEINE TECHNISCHE VERTRAGSBEDINGUNGEN FÜR BAULEISTUNGEN (ATV) - VERBAUARBEITEN; SEPTEMBER 2016.

[DIN 19673, 2013]

ZEICHNERISCHE DARSTELLUNG BODENKUNDLICHER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE; APRIL 2013.

[DIN 19698-1, 2014]

UNTERSUCHUNG VON FESTSTOFFEN - PROBENAHME VON FESTEN UND STICHFESTEN MATERIALIEN - TEIL 1: ANLEITUNG FÜR DIE SEGMENTORIENTIERTE ENTNAHME VON PROBEN AUS HAUFWERKEN; MAI 2014.

[DIN 19738, 2017]

BODENBESCHAFFENHEIT – RESORPTIONSVERFÜGBARKEIT VON ORGANISCHEN UND ANORGANISCHEN SCHADSTOFFEN AUS KONTAMINIERTEM BODENMATERIAL; JUNI 2017.

[DIN 19747, 2009]

UNTERSUCHUNG VON FESTSTOFFEN – PROBENVORBEHANDLUNG, -VORBEREITUNG UND -AUFBEREITUNG FÜR CHEMISCHE, BIOLOGISCHE UND PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN; JULI 2009.

[DIN 4023, 2006]

GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – ZEICHNERISCHE DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE VON BOHRUNGEN UND SONSTIGEN DIREKTEN AUFSCHLÜSSEN; FEBRUAR 2006.

[DIN 4124, 2012]

BAUGRUBEN UND GRÄBEN - BÖSCHUNGEN, VERBAU, ARBEITSRAUMBREITEN; JANUAR 2012.

[DIN 4220, 2008]

BODENKUNDLICHE STANDORTBEURTEILUNG - KENNZEICHNUNG, KLASSIFIZIERUNG UND ABLEITUNG VON BODENKENNWERTEN (NORMATIVE UND NOMINALE SKALIERUNGEN); NOVEMBER 2008.

[DIN EN ISO 14688-1, 2013]

GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – BENENNUNG, BESCHREIBUNG UND KLASSIFIZIERUNG VON BODEN – TEIL 1: BENENNUNG UND BESCHREIBUNG (ISO 14688-1:2002 + AMD 1:2013); DEUTSCHE FASSUNG EN ISO 14688-1: 2002 + A1: 2013; DEZEMBER 2013.

[DIN EN ISO 14689-1, 2011]

GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – BENENNUNG, BESCHREIBUNG UND KLASSIFIZIERUNG VON FELS – TEIL 1: BENENNUNG UND BESCHREIBUNG (ISO 14689-1:2003); DEUTSCHE FASSUNG EN ISO 14689-1:2003; JUNI 2011.

[DIN EN ISO 22155, 2016]

BODENBESCHAFFENHEIT – GASCHROMATOGRAPHISCHE BESTIMMUNG FLÜCHTIGER AROMATISCHER KOHLENWASSERSTOFFE, HALOGENKOHLENWASSERSTOFFE UND AUSGEWÄHLTER ETHER – STATISCHES DAMPFRAUMVERFAHREN; JULI 2016.

[DIN EN ISO 22475-1, 2007]

GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – PROBENENTNAHMEVERFAHREN UND GRUNDWASSERMESSUNGEN TEIL 1: TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER AUSFÜHRUNG; JANUAR 2007.

[DIN ISO 10381-1, 2003]

BODENBESCHAFFENHEIT: PROBENNAHME – TEIL 1: ANLEITUNG ZUR AUFSTELLUNG VON PROBENNAHMEPROGRAMMEN; AUGUST 2003.

[DIN ISO 10381-2, 2003]

BODENBESCHAFFENHEIT: PROBENNAHME – TEIL 2: ANLEITUNG FÜR PROBENNAHMEVERFAHREN; AUGUST 2003.

[DIN ISO 10381-5, 2007]

BODENBESCHAFFENHEIT: PROBENNAHME – TEIL 5: ANLEITUNG ZUR VORGEHENSWEISE BEI DER UNTERSUCHUNG VON BODENKONTAMINATIONEN AUF URBANEN UND INDUSTRIELLEN STANDORTEN; FEBRUAR 2007.

[DIN ISO 10381-7, 2007]

BODENBESCHAFFENHEIT: PROBENNAHME – TEIL 7: ANLEITUNG ZUR ENTNAHME VON BODENLUFTPROBEN; OKTOBER 2007.

[DIN ISO 18512, 2009]

BODENBESCHAFFENHEIT – ANLEITUNG FÜR DIE KURZ- UND LANGZEITLAGERUNG VON PROBEN; MÄRZ 2009.

[GEFSTOFFV, 2010]

VERORDNUNG ZUM SCHUTZ VOR GEFÄHRSTOFFEN (GEFÄHRSTOFFVERORDNUNG – GEFSTOFFV) VOM 26. NOVEMBER 2010 (BGBl. I S 1643), DIE ZULETZT DURCH ARTIKEL 148 DES GESETZES VOM 29. MÄRZ 2017 (BGBl. I S. 626) GEÄNDERT WORDEN IST.

[GERSTNER ET AL., 2008]

GERSTNER, D., SCHEYTT, T. & FÄLKER, CH.: UNTERSUCHUNGEN VON ALTLASTEN - EINSATZMÖGLICHKEITEN UND GRENZEN VON DIRECT-PUSH TECHNOLOGIEN BEI DER ALTLASTENBEARBEITUNG; ALTLASTEN SPEKTRUM 6; 2006.

[GRANDEL ET AL., 2008]

GRANDEL, S., DAHMKE, A. (EDS.): LEITFADEN KORA-THEMENVERBUND 3: NATÜRLICHE SCHADSTOFFMINDE-
RUNG BEI LCKW-KONTAMINIERTEN SCHADSTOFFEN, UNIVERSITÄT KIEL, 78-97; 2008.

[HLUG, 2000]

HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2000): BESTIMMUNG VON BTEX/LHKW IN FEST-
STOFFEN AUS DEM ALTLASTENBEREICH. HANDBUCH ALTLASTEN BAND 7 (ANALYSENVERFAHREN) – TEIL 4;
WIESBADEN: HLUG, 2000.

[IABG, 2001]

ARBEITSHILFE „ORIENTIERENDE UND DETAILUNTERSUCHUNG VON RÜSTUNGSALTLASTVERDACHTS-
STANDORTEN IN BAYERN“; 2001.

[ITVA-ARBEITSHILFE F 2-1, 1995]

INGENIEURTECHNISCHER VERBAND ALTLASTEN E. V.: ARBEITSHILFE F2-1 „AUFSCHLUSSVERFAHREN ZUR
FESTSTOFFPROBENGEWINNUNG FÜR DIE UNTERSUCHUNG VON VERDACHTSFLÄCHEN UND ALTLASTEN“ DES
ITVA-FACH-AUSSCHUSSES F2 PROBENNAHME; SEPTEMBER 1995.

[IZU LfU]

INFOZENTRUM UMWELTWIRTSCHAFT DES BAYERISCHEN LfU (www.izu.bayern.de).

[KrWG, 2016]

GESETZ ZUR FÖRDERUNG DER KREISLAUFWIRTSCHAFT UND SICHERUNG DER UMWELTVERTRÄGLICHEN BE-
WIRTSCHAFTUNG VON ABFÄLLEN (KREISLAUFWIRTSCHAFTSGESETZ - KRWG) VOM 24.02.2012, DAS DURCH
ARTIKEL 2 ABSATZ 9 DES GESETZES VOM 20. JULI 2017 (BGBl. I S. 2808) GEÄNDERT WORDEN IST.

[LABO FACHMODUL BODEN UND ALTLASTEN, 2012]

BUND-/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO): NOTIFIZIERUNG UND KOMPETENZNACHWEIS
VON UNTERSUCHUNGSSTELLEN IM BODENSCHUTZRECHTLICH GEREGLTEN UMWELTBEREICH (FACHMODUL
BODEN UND ALTLASTEN). STAND 16. AUGUST 2012.

[LAGA PN 98, 2001]

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL: PN 98 – RICHTLINIE FÜR DAS VORGEHEN BEI PHYSIKALISCHEN,
CHEMISCHEN UND BIOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER VERWER-
TUNG/BESEITIGUNG VON ABFÄLLEN; DEZ. 2001.

[LAGERSTG, 1934]

GESETZ ÜBER DIE DURCHFORSCHUNG DES REICHSGEBIETES NACH NUTZBAREN LAGERSTÄTTEN (LAGERSTÄT-
TENGESETZ) IN DER IM BUNDESGESETZBLATT TEIL III, GLIEDERUNGSNUMMER 750-1, VERÖFFENTLICHTEN BE-
REINIGTEN FASSUNG, DAS ZULETZT DURCH ARTIKEL 22 DES GESETZES VOM 10. NOVEMBER 2001 (BGBl. I S.
2992) GEÄNDERT WORDEN IST.

[LEVEN ET AL., 2010]

LEVEN, C.; WEIß, H.; KOSCHITZKY, H.-P.; BLUM, PH.; PTAK, TH.; DIETRICH, P.: SCHRIFTENREIHE DES ALT-
LASTENFORUM BADEN-WÜRTTEMBERG E.V.: DIRECT-PUSH-VERFAHREN (HEFT 15); STUTTGART, 2010.

[LFU DEPONIE-INFO 5, 2011]

FID-MESSUNGEN AUF DEPONIEEN – KONKRETISIERUNG DER VDI 3860 BLATT 3; SEPTEMBER 2011.

[LFU VERFO, 2002]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: VERFAHRENSORDNUNG ZUR ÜBERPRÜFUNG UND BEKANNTGABE
VON SACHVERSTÄNDIGEN UND UNTERSUCHUNGSSTELLEN NACH § 18 BBODSCHG VOM 12.06.2002 (ZULETZT
GEÄNDERT AM 02.06.2008).

http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/fachinformationen/vsu_zulassung/rechtsgrundlagen/index.htm

[LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 1, 2002]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ: UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG VON ALTLASTEN UND SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN WIRKUNGSPFAD BODEN-MENSCH (DIREKTER KONTAKT); AUGSBURG, 2002.

[LFU-MERKBLATT ALTLASTEN 2, 2009]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG VON FLÜCHTIGEN STOFFEN BEI ALTLASTEN UND SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN – WIRKUNGSPFAD BODEN-MENSCH (PFAD LUFT); AUGSBURG, 2009.

[LFU-MERKBLATT NR. 3.8/2, 2009]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: HINWEISE ZUR AUSSCHREIBUNG UND VERGABE VON LEISTUNGEN IM RAHMEN DER AMTSERMITTLUNG; AUGSBURG, 2009.

[LFU-MERKBLATT NR. 3.8/3, 2015]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: NATÜRLICHE SCHADSTOFFMINDERUNG BEI GRUNDWASSERVERUNREINIGUNGEN DURCH ALTLASTEN UND SCHÄDLICHE BODENVERÄNDERUNGEN; AUGSBURG, 2015.

[LFU-MERKBLATT NR. 3.8/5, 2017]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN UND ELUATEN BEI ALTLASTEN UND SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN FÜR DIE WIRKUNGSPFADE BODEN-MENSCH UND BODEN-GEWÄSSER; AUGSBURG, 2017.

[LFU-MERKBLATT NR. 3.8/6, 2010]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: ENTNAHME UND UNTERSUCHUNG VON WASSERPROBEN BEI ALTLASTEN, SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN UND GEWÄSSERVERUNREINIGUNGEN; AUGSBURG, 2010.

[LFU-MERKBLATT NR. 3.8/7, 2016]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: HISTORISCHE ERKUNDUNG VON ALTLASTEN UND SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN; AUGSBURG, 2016.

[LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001]

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG VON ALTLASTEN, SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN UND GEWÄSSERVERUNREINIGUNGEN – WIRKUNGSPFAD BODEN-GEWÄSSER; SLG LFW-MERKBLATT TEIL 3 NR. 3.8/1; MÜNCHEN, 2001.

[LUA, 2004]

LUA-LANDESAMT BRANDENBURG: FACHINFORMATIONEN DES LANDESAMTES NR. 4: PRAXISERPROBTE UND INNOVATIVE DIREKT/IN-SITU-PROBENAHMEVERFAHREN FÜR GRUND-, SICKERWASSER UND BODENLUFT IM RAHMEN DER ALTLASTENBEARBEITUNG; 2004
(NUR INTERNETVERSION: http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2334/lab0_nr4.pdf).

[PALANDT, 1999]

BECK'SCHER KURZKOMMENTAR ZUM BÜRGERLICHEN GESETZBUCH, BAND 7, 58. AUFLAGE, VERLAG C. H. BECK, MÜNCHEN.

[TEUTSCH, 2008]

TEUTSCH, G., WABELS, D. (EDS.): LEITFADEN KORA-THEMENVERBUND 1: NATÜRLICHE SCHADSTOFFMINDERUNGSPROZESSE BEI MINERALÖLKONTAMINIERTEN STANDORTEN, UNIVERSITÄT TÜBINGEN, ZAG: 60-104; 2008.

[TRGS 524, 2010]

TECHNISCHE REGELN FÜR GEFÄHRSTOFFE; SCHUTZMAßNAHMEN BEI TÄTIGKEITEN IN KONTAMINIERTEN BE-REICHEN (TRGS 524); FEBRUAR 2010.

[UMWELTBUNDESAMT, 2016]

UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH: QUICKSCAN ERKUNDUNGS- UND MONITORINGTECHNOLOGIEN - QUICKSCAN ÜBER ERFOLGVERSPRECHENDE VERFAHREN ZUR ERKUNDUNG VON KONTAMINIERTEN STANDORTEN; WIEN, 2016.

[VAWS, 2006]

VERORDNUNG ÜBER ANLAGEN ZUM UMGANG MIT WASSERGEFÄHRDENDEN STOFFEN UND ÜBER FACHBETRIEBE (ANLAGENVERORDNUNG – VAWS) VOM 18. JANUAR 2006, DIE ZULETZT DURCH § 1 NR. 364 DER VERORDNUNG VOM 22. JULI 2014 (GVBL. S. 286) GEÄNDERT WORDEN IST.

[VDI-RICHTLINIE 3860 BLATT 1, 2006]

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: MESSEN VON DEPONIEGAS – GRUNDLAGEN; MAI 2006.

[VDI-RICHTLINIE 3860 BLATT 3, 2017]

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: MESSEN VON DEPONIEGAS - MESSEN VON METHAN AN DER DEPONIE-OBERFLÄCHE MITTELS SAUGGLOCKENVERFAHREN; NOVEMBER 2017.

[VDI-RICHTLINIE 3865 BLATT 1, 2005]

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: MESSEN ORGANISCHER BODENVERUNREINIGUNGEN - MESSEN LEICHTFLÜCHTIGER HALOGENIERTER KOHLENWASSERSTOFFE; MESSPLANUNG FÜR BODENLUFT-UNTERSUCHUNGSVERFAHREN; JUNI 2005.

[VDI-RICHTLINIE 3865 BLATT 2, 1998]

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: MESSEN ORGANISCHER BODENVERUNREINIGUNGEN - TECHNIKEN FÜR DIE AKTIVE ENTNAHME VON BODENLUFTPROBEN; JANUAR 1998.

[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, BAYRS 2129-4-2-U), DIE ZULETZT DURCH VERORDNUNG VOM 16. OKTOBER 2017 (GVBL. 2017 S. 508-510) GEÄNDERT WORDEN IST.

[WHG, 2009]

GESETZ ZUR ORDNUNG DES WASSERHAUSHALTS (WASSERHAUSHALTSGESETZ - WHG) VOM 31. JULI 2009 (BGBl. I S. 2585), DAS DURCH ARTIKEL 1 DES GESETZES VOM 18. JULI 2017 (BGBl. I S. 2771) GEÄNDERT WORDEN IST.

Impressum:

Herausgeber:
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Postanschrift:
Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Bildnachweis:
LfU

Telefon: (08 21) 90 71-0
Telefax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Bearbeitung:
Ref. 96
Stand:
November 2017

ANHANG 1: Checkliste zur Qualitätssicherung (Bodenprobenahme)

Checkliste zur Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen bei der Bodenprobenahme

| | ja | nein | Bemerkungen |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------|
| 1. Allgemeines | | | |
| • Liegt eine schriftliche und vollständige Probenahmeplanung vor | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Sind sowohl Auftragnehmer als auch etwaige Subunternehmer nach VSU zugelassen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 2. Sind folgende Punkte dokumentiert: | | | |
| • ausreichende Begründung für vom Probenahmeplan abweichende Vorgehensweise | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Pfad Boden-Wasser: Begründung für Mischproben-Bildung (nur kleinräumig) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Pfad Boden-Mensch: Anzahl der Einzelproben je Teilfläche und nutzungsabhängige Beprobungstiefe | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Aufnahme des Schichtenprofils nach (Kurz-)KA 5 bzw. nach DIN EN ISO 14688-1, 14689-1 und 22475-1 unter Einbeziehung der Parameter der Kurz-KA 5 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Fotografische Aufnahme von Schürfen | <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"/> | |
| • Parameter-spezifische Angabe der Art der Probengefäße einschließlich Verschlüsse und Dichtungen (bei organ. Stoffen Glasflaschen) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Konservierungsmaßnahmen, insbes. Methanolüberschichtung vor Ort beim Vorliegen von leichtflüchtigen Stoffen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Reihenfolge der Messstellenbeprobung (Hinweis auf verschleppungsbedingte Verunreinigungen) | <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 |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------|
| 1. Allgemeines | | | |
| • Liegt eine schriftliche und vollständige Probenahmeplanung vor | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Sind sowohl Auftragnehmer als auch etwaige Subunternehmer nach VSU zugelassen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 2. Sind folgende Punkte dokumentiert: | | | |
| • ausreichende Begründung für vom Probenahmeplan abweichende Vorgehensweise | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Witterung am Tag der Probenahme und an den Vortagen, insb. Niederschlagsereignisse und Luft- und Bodentemperatur, Luftdruck | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Angabe zum Grundwasserstand | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Angaben zur Bohrlochabdichtung (z. B. Packer, Quellton), zum Entnahmebereich (mind. 1 Meter unter GOK) und dessen Abstand zur GW-Oberfläche (mind. ein Meter) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| • Eingesetzte Geräte und Materialien zur Probenahme, Messbereich CO ₂ -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 ₂ -/O ₂ -Gehaltes in der abgepumpten Bodenluft | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

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

| Titeldaten – Fläche | | | |
|----------------------------|--|--|--|
| Projektbezeichnung | | Landkreis | |
| Projekt-/Auftragsnummer | | Gemeinde | |
| Untersuchungsstelle | | Gemarkung | |
| Sachbearbeiter | | Kataster-Nr. (ABuDIS) | |
| Auftraggeber | | Kartenblatt | |
| Datum der Probenahme | | Flurstücksnummer(n) | |
| Probenehmer | | 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 Probennehmer |
|---------------------------------|--|

ANHANG 3: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenproben (Fortsetzung)

Teil 2: Punktbezogene Daten, Aufnahmesituation

| Punktbezogene Standortbeschreibung und Aufnahmesituation | | | |
|--|--|---|---|
| Projekt-/Auftrags-Nr. | | Höhe des Ansatzpunktes [Meter über NN] | |
| Probenehmer | | Rechtswert (G/K od. UTM) | |
| Flurstücks-Nr. | | Hochwert (G/K od. UTM) | |
| Nutzungsart | | Beprobungspunkt | |
| Witterung am Tag der Probenahme u. 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 wiederherge- stellt mit | |
| Entnahmegesetz: | | Bei flächenbezogener Bodenmischprobe: | |
| Reinigung der Bohr- und Entnahmegesetze | | Beprobte Fläche (m ²): | |
| | | Anzahl Einzelproben: | |
| Nr. der Probenahme in- nerhalb 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 | |

ANHANG 3: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenproben (Fortsetzung)

Teil 3: Schichtenverzeichnis in Anlehnung an die Kurz-KA 5 [BGR, 2009]: (die Bezeichnungen und Seitenzahlen i. d. Datenfeldern beziehen sich auf die Kurz-KA 5)

| Projekt-/Auftrags-Nr. | | Probenehmer/Sachbearbeiter | | | | Datum/Uhrzeit | | | Beprobungspunkt | | | | | |
|---|-------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-------------|---|------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------------|---|
| Lfd. Nr. | Unter-/Obergrenze S. 31 | Feinboden S. 55 | Grobboden S. 65 | Anteil Grob-boden [%] S. 66 | Beimengungen S. 76 | Geruch | Farbe S. 37 | Humus-gehalt S. 41 | Car-bonat-gehalt S. 70 | Entnah-metiefe (m u. GOK) von - bis | Proben-bezeichnung | Proben-gefäß/-volumen | Trans-port-, Lagerbe-dingun-gen | Bemerkungen (z. B. Methanolüber-schichtung und/oder Hinweise auf hohe Be-lastungen) |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Bemerkungen, besondere Vorkommnisse: | | | | | | | | | | | | | | |
| Für die Richtigkeit der Angaben | | | | | | | | Datum/Uhrzeit, Unterschrift Probenehmer | | | | | | |
| Übergabe der Proben an die Untersuchungsstelle/Labor Fachgerecht (gekühlt, dicht usw.): <input type="checkbox"/> ja / <input type="checkbox"/> nein | | | | | | | | Datum/Uhrzeit, Unterschrift Untersuchungsstelle/Labor | | | | | | |

Fortsetzung Teil 3:

| Projekt-/Auftrags-Nr. | | Probenehmer/Sachbearbeiter | | | | 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 u. reduktive Hydromorphiemerkmale S. 43 | Bodenfeuchte S. 45 | Konsistenz S. 45 | Hohlräume S. 47 | Tr.rohdichte o. eff. Lag.dichte/Subst.vol. u. Zers. Stufe 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 | | Kataster-Nr. (ABuDIS) | |
| Auftraggeber | | Kartenblatt | |
| Datum der Probenahme | | | |
| Probenehmer | | 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 |
|---------------------------------|---|

ANHANG 4: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenluftproben (Fortsetzung)

Teil 2: Punktbezogene Daten, Aufnahmesituation

| Punktbezogene Standortbeschreibung und Aufnahmesituation | | | |
|---|--------------|--|---|
| Projekt-/Auftrags-Nr. | | Höhe des Ansatzpunktes [Meter über NN] | |
| Probenehmer | | Rechtswert (G/K od. UTM) | |
| Flurstücks-Nr. | | Hochwert (G/K od. UTM) | |
| Temperatur Außenluft [°C] | | Beprobungspunkt | |
| Bodentemperatur [°C] | | Witterung am Tag der Probenahme u. 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 Entnahmegерäte | | Art der Entnahmestelle: | <input type="checkbox"/> stationär <input type="checkbox"/> temporär |
| Entnahmebereich (Meter unter GOK) | von: bis: | Abdichtung des Bohrlochs bzw. Entnahmebereichs 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 Probennehmer | |

ANHANG 4: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenluftproben (Fortsetzung)

Teil 3: Probenahme

| Probenahme | | | |
|---|---|--|--|
| Projekt-/Auftrags-Nr. | | Probenehmer | |
| 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: | |
| <input type="checkbox"/> Headspace-Gläschen [ml] Septum-Material: | Typ: | <input type="checkbox"/> GC-MS | |
| <input type="checkbox"/> Minican mit Unterdruck: [mbar] | Adsorbens: | <input type="checkbox"/> Sonstige: | |
| <input type="checkbox"/> Sonstige: | | | |
| Volumen [ml]: | Volumen [ml]: | Volumen [ml]: | |
| Mehrfachbeprobung: <input type="checkbox"/> ja, Anzahl: <input type="checkbox"/> nein | | | |
| Vor-Ort-Messungen: | | Gerätemessbereich für CO ₂ : | |
| <input type="checkbox"/> CO ₂ [Vol.-%]: Verlauf: | <input type="checkbox"/> O ₂ [Vol.-%]: Verlauf: | <input type="checkbox"/> CH ₄ [Vol.-%]: <input type="checkbox"/> H ₂ S [ppm]: <input type="checkbox"/> Sonstige: | |
| | | <input type="checkbox"/> Bodenluft-Temp. [°C]: | |
| | | Volumenstrom [l/h]: | |
| Unterdruck [mbar]: | Absaugdauer vor Probenahme [min]: | Entnahmemenge [l]: | |
| Transport ins Labor mit <input type="checkbox"/> Kurier <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ungekühlt <input type="checkbox"/> gekühlt <input type="checkbox"/> dunkel | | Lagerung der Proben <input type="checkbox"/> ungekühlt <input type="checkbox"/> gekühlt <input type="checkbox"/> dunkel | |
| Bemerkungen, besondere Vorkommnisse | | | |
| Für die Richtigkeit der Angaben | | Datum/Uhrzeit, Unterschrift Probenehmer | |
| Übergabe der Proben an die Untersuchungsstelle/Labor Fachgerecht (gekühlt, dicht usw.): <input type="checkbox"/> ja / <input type="checkbox"/> nein | | Datum/Uhrzeit, Unterschrift Untersuchungsstelle/Labor | |

ANHANG 4: Muster-Probenahmeprotokoll für Bodenluftproben (Fortsetzung)

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: | | Beprobungspunkt: |
| Datum/ Uhrzeit | Bezeichnung der Probe | Entnah- metiefe [m] | Volumen- strom [l/h] | Absaug- dauer [min] | Entnahme- volumen [l] | Art der Proben- sammlung | Probenvolumen, Mehrfachbepro- bung | Vor-Ort-Messungen, Aufzeichnung CO ₂ -Gang | Sonstiges |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |