



Handbuch Altlasten

Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen

Band 3, Teil 2



Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 2

Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen

2., überarbeitete Auflage

Wiesbaden 2014

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Impressum

ISBN: 978-3-89026-819-4

Handbuch Altlasten Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen Band 3, Teil 2

2., überarbeitete Auflage, 2014

Titelbild: Heddernheimer Kupferwerk und Süddeutsche Kabelwerke AG
Gesamtansicht um 1910, Bildnachweis: Denkmalamt Stadt Frankfurt am Main, Nr. 478

Verfasser: ARCADIS Consult GmbH, Darmstadt
Dr. Helmut Dörr
Dr. Thomas Held
Dr. Helmut Jacob
Dipl.-Ing. Christoph von Rinck
Dr. Gerd Rippen

Bearbeitung: Dezernat Bodenschutz und Altlasten
Dr. Thomas Schmid
Dipl.-Ing. Volker Zeisberger

Layout: Martina Schaffner

Herausgeber, © und Vertrieb:
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Telefon: 0611 6939-111
Telefax: 0611 6939-113
E-Mail: vertrieb@hlug.hessen.de

www.hlug.de

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Allgemeines	5
1.2	Qualitätssicherung	6
1.3	Sachverständige und Untersuchungsstellen nach § 18 BBodSchG	8
1.4	Vergabe von Erkundungs-/Untersuchungsleistungen und Analytik	9
1.5	Arbeitsschutz bei Erkundungsarbeiten	9
1.5.1	Grundlagen	9
1.5.2	Risiken bei der Durchführung von Erkundungsarbeiten	13
1.6	Anforderungen an Gutachten	15
1.7	Altflächendatei	15
2	Historische Erkundung	18
3	Wassererkundung	19
3.1	Allgemeines, Zielsetzung	19
3.1.1	Definitionen	19
3.1.2	Ausbreitung und Transport von Schadstoffen	19
3.1.3	Zielsetzung	21
3.2	Erkundungskonzept	22
3.2.1	Grundlagen	22
3.2.2	Messstellenauswahl	23
3.2.3	Untersuchungsumfang	27
3.3	Messstellen	29
3.3.1	Grundwassermessstellen	29
3.3.2	Fassung von Quellen und Deponiesickerwasser	35
3.3.3	Messungen der Grundwasserstände und Pegelmessungen	36
3.3.4	Bohrverfahren	36
3.3.5	Spezielle Verfahren zur Grundwasseruntersuchung	40
3.4	Probennahme und Ansprache	41
3.4.1	Allgemeines	41
3.4.2	Beprobung von Grundwassermessstellen	42
3.4.3	Beprobung von oberirdischen Gewässern, Quellen und Sickerwasseraustritten	48
3.4.4	Beprobung von Sedimenten in oberirdischen Gewässern	49
3.4.5	Beprobung von Sicker- und Stauwasser mit Saugkerzen	52
3.5	Probenhandhabung	54
3.6	Chemische Untersuchungen	57
3.7	Qualitätssicherung	61
3.8	Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodelle	61
4	Bodenerkundung	62
4.1	Allgemeines, Zielsetzung	62
4.1.1	Definitionen	62
4.1.2	Zielsetzungen und Rahmenbedingungen der Erkundungen	62
4.2	Erkundungskonzept	65
4.2.1	Grundlagen	65
4.2.2	Tiefe der Erkundungsbohrungen und Beprobungen	66
4.2.3	Anzahl und Lage der Untersuchungspunkte, Raster	67
4.2.4	Geräteinsatz	71

4.3	Aufschlussarten	71
4.3.1	Sondierungen	71
4.3.2	Großkalibrige Bohrungen	73
4.3.3	Handbohrungen	74
4.3.4	Schürfe und oberflächennahe Beprobung	74
4.4	Probennahme und Ansprache	75
4.4.1	Ansprache	75
4.4.2	Bestimmung der Feldparameter	81
4.4.3	Vor-Ort-Analytik	81
4.4.4	Probennahme	82
4.4.5	Probenauswahl	90
4.5	Probenhandhabung	91
4.6	Elutions- und Extraktionsverfahren	92
4.7	Chemische Untersuchungen	92
4.8	Qualitätssicherung	96
4.9	Sickerwassermodellierung in der ungesättigten Bodenzone	96
4.10	Verwendung von Untersuchungsergebnissen aus der Altlastenerkundung für die Abfallentsorgung	97
5	Bodenlufterkundung	99
5.1	Allgemeines, Zielsetzung	99
5.2	Erkundungskonzept	101
5.2.1	Lage und Anzahl der Messstellen	102
5.2.2	Parameterumfang	103
5.2.3	Messstellenbau	104
5.2.4	Randbedingungen der Probennahme	105
5.3	Bodenluftmessstellen	106
5.3.1	Temporäre Messstellen	106
5.3.2	Stationäre Messstellen	109
5.4	Probennahme	110
5.4.1	Spülung der Messstelle vor der Probennahme	110
5.4.2	Feldmessungen	111
5.4.3	Probennahmetechniken und Probenhandhabung	112
5.4.4	Dokumentation der Probennahme	113
5.5	Chemische Untersuchungen	114
5.6	Qualitätsanforderungen und Fehlervermeidung	115
6	Sickerwasserprognose	116
7	Weitere Erkundungsverfahren	119
7.1	Allgemeines, Zielsetzung	119
7.2	Geophysikalische Erkundungsmethoden	119
7.3	Isotopen- und Spurenstoffanalytik	120
7.4	Biomonitoring	121
7.5	Raumluftuntersuchungen	122
7.6	Staubuntersuchungen	123
7.7	Untersuchung von Pflanzen	124
8	Glossar	125
9	Literatur	131
	Anhang	136

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Ziel des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) ist ein nachhaltiger Schutz der Bodenfunktionen oder ihre Wiederherstellung (§ 1 BBodSchG). Gegebenenfalls sind schädliche Bodenveränderungen sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren.

Insbesondere die natürlichen Bodenfunktionen (z.B. Lebensgrundlage für Menschen, Schutz des Grundwassers) können durch **altlastverdächtige Flächen** gefährdet sein. Altlastverdächtige Flächen sind Altablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen oder sonstiger Gefahren für den Einzelnen oder die Allgemeinheit besteht (§ 2 Abs. 6 BBodSchG).

Der **Untersuchung** von altlastverdächtigen Flächen kommt in der Altlastenbearbeitung eine Schlüsselrolle zu, weil auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse weitreichende Entscheidungen zu treffen sind. Der Altlastverdacht wird als Konsequenz einer Untersuchung entweder bestätigt oder ausgeräumt.

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) wird zwischen orientierenden Untersuchungen (§ 2 Nr. 3 BBodSchV) und Detailuntersuchungen (§ 2 Nr. 4 BBodSchV) unterschieden. Beide Untersuchungen finden auf Verdachtsflächen statt, jedoch mit unterschiedlichen Zielen. Zweck der **orientierenden Untersuchung** ist die abschließende Feststellung, ob der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt ist, oder ob ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast besteht (konkrete Anhaltspunkte gemäß § 9 Abs. 2 BBodSchG). Liegen solche konkreten Anhaltspunkte vor, so sind die notwendigen Untersuchungen zur abschließenden Gefährdungsabschätzung (Detailuntersuchungen) gemäß § 2 Nr. 4 BBodSchV durchzuführen. Die zuständige Behörde kann eine Detailuntersuchung gegenüber dem Verursacher anordnen (§ 9 Abs. 2 BBodSchG).

Die hier beschriebenen Anforderungen an die Untersuchung altlastverdächtiger Flächen gelten ebenfalls bei vergleichbaren Untersuchungen auf bestehenden industriell und gewerblich genutzten Betriebsstandorten, auf denen durch den unsachgemäßen Umgang mit wassergefährdenden Stoffen oder durch Unfälle Grundwasser- oder Bodenverunreinigungen entstanden sind oder vermutet werden (**Schadensfälle**).

In der BBodSchV werden im § 3 die Anforderungen an die Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen und altlastverdächtigen Flächen grundsätzlich geregelt. Im Anhang 1 zur BBodSchV werden die Anforderungen an die Probennahme, Analytik und Qualitätssicherung bei derartigen Untersuchungen ausführlich beschrieben.

Das vorliegende Handbuch besteht aus den Hauptteilen

- **Wassererkundung** (Kap. 3)
- **Bodenerkundung** (Kap. 4)
- **Bodenlufterkundung** (Kap. 5)

sowie aus den ergänzenden Kapiteln **Sickerwasserprognose** (Kap. 6) und **Weitere Erkundungsverfahren** (Kap. 7). In einem **Glossar** sind wesentliche Begriffe erläutert.

Ziel des BBodSchG

Altlastverdacht
überprüfen

Bodenschutzrecht
als Grundlage

Aufbau des
Handbuchs

Die Kapitel Wasser-, Boden- und Bodenlufterkundung sind vergleichbar aufgebaut. Es ist jeweils ein allgemeiner Teil zur Darstellung von Grundlagen und Zielsetzungen vorangestellt, gefolgt von technischen Angaben über Voraussetzungen und Durchführung bestimmter Methoden bis zur Dokumentation der Untersuchungsergebnisse. Die Themen Qualitätssicherung und Arbeitsschutz bei Erkundungsmaßnahmen werden in dieser Einleitung in allgemeiner Form behandelt. Auf die für die Qualitätssicherung erforderlichen Maßnahmen wird in jedem der drei Hauptkapitel nochmals detailliert eingegangen. Diese Kapitel wurden so gestaltet, dass sie sich als abgeschlossene, vollständige Einheiten darstellen. Dadurch kommt es in Einzelfragen zu thematischen Überschneidungen oder Wiederholungen, die auf Grund der notwendigen Übersichtlichkeit und der Funktion als Nachschlagewerk unvermeidlich sind.

Anwendungsbereich

Das Handbuch findet Anwendung bei der Untersuchung von schädlichen Bodenveränderungen, die durch Schadstoffeintrag entstanden sind. Zu den untersuchten Standorten zählen in erster Linie altlastverdächtige Flächen (Altstandorte und Altablagerungen) sowie gewerblich und industriell genutzte Liegenschaften, auf denen durch den unsachgemäßen Umgang mit wassergefährdenden Stoffen oder durch Unfälle eine Grundwasser- oder Bodenverunreinigung entstanden ist (Schadensfälle). In den nachfolgenden Kapiteln werden die Schadensfälle nicht in allen Fällen explizit genannt, um die Lesbarkeit zu erhöhen.

Adressaten des Handbuchs

Das Handbuch soll von Fachbehörden, kommunalen Gebietskörperschaften und Ingenieurbüros als technischer Standard genutzt werden. Aufgabe des Handbuchs ist es daher, die aus heutiger Sicht geeigneten und in der Praxis angewandten Untersuchungsmethoden für Wasser, Boden und Bodenluft vorzustellen und ihren Einsatz entsprechend der jeweiligen Charakteristik einer Verdachtsfläche zu bewerten. Der mit diesem Handbuch gesetzte Untersuchungsstandard ist als ein flexibles System zu betrachten, das an die Standortgegebenheiten angepasst und gegebenenfalls um einzelfallspezifische Untersuchungsmethoden erweitert werden kann. Es ist Aufgabe des Gutachters, mit Hilfe seines Fachwissens und seiner Erfahrung für die jeweilige Standortssituation das angepasste Erkundungskonzept sowie geeignetes Fachpersonal und die zugehörigen technischen Geräte und Werkzeuge einzusetzen. Vor Beginn eines Projektes sollte die Erkundungskonzeption mit den zuständigen Fachbehörden abgestimmt werden.

1.2 Qualitätssicherung

Ziel

Die Untersuchung von Altablagerungen und Altstandorten stellt für eine ggf. notwendige Sicherung oder Sanierung einen grundlegenden Bearbeitungsschritt dar. Alle weiteren Maßnahmen bauen auf dieser Basis auf. Deshalb ist es bereits in dieser Phase erforderlich, einen prüfbaren, nachvollziehbaren und belastbaren Daten- und Kenntnisstand zu erarbeiten. Dies muss durch qualitätssichernde Maßnahmen sichergestellt bzw. unterstützt werden.

Grundlagen

Die DIN EN ISO 9001 definiert Qualitätssicherung als den „Teil des Qualitätsmanagements ..., der auf die Schaffung von Vertrauen gerichtet ist, dass die zutreffende Qualitätsforderung ... erfüllt wird“. Vertrauen schafft, was objektiv nachvollziehbar und reproduzierbar ist. Deshalb sind die Kernaufgaben des Qualitätsmanagements:

- Dokumentation von Aufgaben, Zuständigkeiten und Abläufen
- Nachweis der Umsetzung der durchzuführenden qualitätssichernden Arbeiten.

Konsequenterweise fordert die DIN EN ISO/IEC 17025 (DIN EN ISO 9001 und 9002 sind integriert) folgende Qualitätsmerkmale:

- Qualifikation und Weiterbildung des Personals
- Regelung der Organisationsstruktur (z.B. Projektorganisation, Tätigkeitsbeschreibungen, technische Anforderungen an Materialien und Geräte sowie Laboratoriumsausstattung)
- Lenkung der Dokumente, der Aufzeichnungen und der Daten (z.B. Verfahrensanweisungen, Prüfergebnisse, technische Richtlinien), der Revisionsstände, der Belegexemplare usw. bis zur sicheren Archivierung
- Auswahl qualifizierter Unterauftragnehmer bzw. Freigabe der Vergabe durch den Auftraggeber
- Prüfung der verwendeten Geräte und Materialien
- Plausibilitätsprüfungen der Prüf- und Messergebnisse (Fremd- und Eigenbeurteilung)
- Verfahren für die Behandlung fehlerhafter Arbeiten (systematische Fehleranalyse, Festlegung von Korrekturmaßnahmen und Überwachung der Wirksamkeit der Maßnahmen)
- Vereinbarung und Dokumentation von fehlervorbeugenden Maßnahmen (Maßnahmenplan).

Allgemeine Hinweise zur Qualitätssicherung sind in Anhang 1 Nr. 4 der BBodSchV aufgeführt (Probennahme, Probenlagerung, Probenvorbehandlung und Analytik).

Erfahrungsgemäß sind bei Erkundungsmaßnahmen vor allem folgende potenzielle Fehlerquellen zu berücksichtigen:

- Verfälschung der Ergebnisse durch Kontamination von Proben (Verschleppung von Schadstoffen, Verunreinigung durch Hilfsstoffe usw.)
- Beeinflussung der Ergebnisse durch
 - ungeeignete Verfahren bei der Probennahme
 - unsachgemäßen Transport
 - unsachgemäße Durchführung der Untersuchungen (Probenvorbehandlung, Probenaufschluss, Analysenverfahren)
 - Einsatz ungeeigneter Geräte und Materialien
- nicht ausreichende Repräsentanz der ermittelten Daten.

Gegen diese Fehlerquellen müssen vorbeugende Maßnahmen zur Qualitätssicherung ergriffen werden. Wesentliche fachspezifische Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind in den Kapiteln Wassererkundung (Kap. 3), Bodenerkundung (Kap. 4) und Bodenlufterkundung (Kap. 5) beschrieben.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung sind in folgenden Quellen aufgeführt:

- DIN EN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien.
- Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbearbeitung des Altlastenausschusses der LABO (HLUG 2001a) bzw. (LABO 2002).

Qualitätsmerkmale

Hinweise in der BBodSchV

potenzielle Fehlerquellen

Informationsquellen

1.3 Sachverständige und Untersuchungsstellen nach § 18 BBodSchG

rechtliche Grundlagen

Nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) kann die zuständige Behörde verlangen, dass bestimmte Aufgaben von zugelassenen Sachverständigen oder Untersuchungsstellen/Laboratorien durchgeführt werden.

Die Einzelheiten für die erforderliche Sachkunde und Zuverlässigkeit, die gerätetechnische Ausstattung, die Art und den Umfang der wahrzunehmenden Aufgaben sowie die Vorlage der Ergebnisse und die Bekanntgabe der Sachverständigen können nach § 18 BBodSchG die Länder festlegen.

länderübergreifende Regelungen

Da es nicht sinnvoll ist, dass jedes Land hierzu eigene Regelungen erlässt, wurden länderübergreifende Anforderungen an Sachverständige und Untersuchungsstellen vom Altlastenausschuss (ALA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) erarbeitet.

Anforderungen an Sachverständige

Das „Merkblatt über die Anforderungen an Sachverständige nach § 18 BBodSchG“ wurde im Januar 2000 von der LABO beschlossen und von der Amtschefkonferenz der Umweltressorts von Bund und Ländern im Oktober 2000 als eine geeignete Grundlage angesehen (HLUG 2001a). Es ist modular aufgebaut und definiert sowohl die allgemeinen fachlichen und persönlichen Anforderungen, die jeder Sachverständige nach § 18 BBodSchG erfüllen muss, als auch die spezifischen Anforderungen für einzelne Sachgebiete. Dabei werden sechs Sachgebiete unterschieden. Die Zulassung als Sachverständiger kann sowohl für eines als auch für mehrere dieser Sachgebiete erfolgen.

hessische Regelung für Sachverständige

In Hessen ist die Anerkennung von Sachverständigen nach § 18 BBodSchG durch die Verordnung zur Anerkennung von Sachverständigen im Bereich des Bodenschutzes vom 27. September 2006 geregelt. Die Umsetzung der EU-Dienstleistungsrichtlinie (EU-DLRL) in deutsches Recht hat zur Folge, dass die in einem Bundesland ausgesprochene Anerkennung von anderen Bundesländern übernommen wird.

Notifizierung von Untersuchungsstellen

Die Anforderungen hinsichtlich einer Notifizierung von Untersuchungsstellen sind im „Fachmodul Boden und Altlasten“ (Notifizierung und Kompetenznachweis von Untersuchungsstellen im bodenrechtlich geregelten Umweltbereich) der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) festgelegt. Eine aktualisierte Fassung des Fachmoduls Boden und Altlasten vom 16.08.2012 wurde von der UMK im November 2012 den Ländern und der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) zur Anwendung empfohlen und dient als Grundlage für die Notifizierung von Untersuchungsstellen (LABO 2012).

Eine Notifizierung wird für einen bestimmten Parameterumfang unter Angabe des Prüfverfahrens, jeweils begrenzt auf bestimmte Untersuchungsbereiche, widerruflich und auf fünf Jahre befristet erteilt. Der für die Notifizierung notwendige Nachweis der Kompetenz, d.h. die Prüfung der Sachkunde, Zuverlässigkeit und gerätetechnischen Ausstattung, erfolgt gemäß den Anforderungen des „Fachmoduls Boden und Altlasten“ jeweils spezifisch für die einzelnen Untersuchungsbereiche. Akkreditierungen durch die DAkkS werden berücksichtigt, wenn der Kompetenznachweis sich auch auf die Prüfung nach Fachmodul erstreckt.

Anerkennung in anderen Bundesländern

Die in einem Bundesland ausgesprochene Notifizierung wird gemäß der EU-DLRL von anderen Bundesländern anerkannt. Die Anerkennung erfolgt nach dem jeweiligen Landesrecht teilweise ohne Einschränkung oder teilweise durch Nachweis von

Vergleichbarkeit oder Gleichwertigkeit. Eine Notifizierung von Untersuchungsstellen erfolgt zurzeit (Stand 2014) in sieben Bundesländern.

In Hessen bestehen derzeit keine gesetzlichen Regelungen und daher können derzeit keine Untersuchungsstellen nach § 18 BBodSchG zugelassen bzw. notifiziert werden. Untersuchungsstellen mit Geschäftssitz in Hessen müssen sich an die Notifizierungsstellen der Bundesländer wenden, in denen sie tätig werden wollen.

1.4 Vergabe von Erkundungs-/Untersuchungsleistungen und Analytik

Vor Beginn der Projektbearbeitung (Untersuchungskonzept/Angebotsphase) kann nur der ungefähre Bearbeitungsumfang abgeschätzt werden. Dies ist bei der Ausschreibung der Leistungen zu berücksichtigen. Es sollten nur solche Institute oder Firmen berücksichtigt werden, die nachweisen, dass sie die zur Untersuchung notwendigen Gerätschaften in einwandfreiem technischen und umwelthygienischen Zustand bereitstellen und auch fachgerecht einsetzen können. Der Gutachter sollte sich vor der Auftragserteilung von der Leistungsfähigkeit des Bieters im Rahmen eines Fachgesprächs überzeugen. Auch die persönliche Inaugenscheinnahme der Gerätschaften, die Überprüfung von Referenzen oder Erfahrungen des Bieters aus anderen Projekten sind Auswahlkriterien bei der Vergabe.

Die grundlegenden Voraussetzungen für die Beauftragung von Untersuchungsstellen sind im Fachmodul Boden und Altlasten aufgeführt (LABO 2012).

Die wichtigsten Kriterien für die Beauftragung von Untersuchungsstellen sind:

- Nachweis einer **Akkreditierung** nach DIN EN ISO/IEC 17025 einschließlich der Anforderungen des Fachmoduls Boden und Altlasten bzw. einer **Notifizierung** nach Fachmodul Boden und Altlasten
- Vorlage von **Referenzen** und **Zeugnissen** über langjährige matrixspezifische Erfahrungen

Neben den Forderungen nach Flexibilität und fachgerechter Arbeit bzw. sachgerechter Anwendung der vom Gutachter ausgesuchten Erkundungs- und Untersuchungsmethoden sollte die Frage nach der Übernahme von Gewährleistungen vor Vertragsabschluss geklärt sein.

1.5 Arbeitsschutz bei Erkundungsarbeiten

1.5.1 Grundlagen

Diese Einführung in die Thematik des Arbeitsschutzes beschreibt keinen umfassenden Lösungsweg. Dazu wäre ein gesonderter Leitfaden erforderlich. Vielmehr soll die Problematik des Arbeitsschutzes im Rahmen der Erkundung von Verdachtsflächen verdeutlicht und Verantwortlichkeit und Aufgabenverteilung dargestellt werden.

Verdachtsflächen werden im Hinblick auf die von ihnen ausgehenden Gefährdungen für den Menschen und die Umwelt untersucht. Die öffentliche Diskussion wird dabei bestimmt von den möglichen Umweltgefährdungen, während die Arbeitsplatzbelastung der Beschäftigten im Bereich Verdachtsflächenerkundung kaum zur Kenntnis

technische und
fachliche
Voraussetzungen

Anforderungen an
Laboratorien

Ziel

Problematik

genommen wird. Die vorhandenen Rechtsnormen des Arbeitsschutzes müssen jedoch auch im Erkundungsbereich beachtet werden.

Für den Arbeitsschutz im Bereich Verdachtsflächenerkundung sind auch chemische Schadstoffe relevant. Es genügt also nicht, für Erkundungsarbeiten nur eine Bewertung der baustellentypischen Unfallgefahren vorzunehmen, sondern es müssen auch die Auswirkungen chemischer Schadstoffe berücksichtigt werden. Dabei besteht die besondere Problematik darin, dass häufig Stoffgemische auftreten, deren gesundheitsbeeinträchtigendes Potenzial u.U. nicht bekannt ist.

Im Sinne des Arbeitsschutzes sind Verdachtsflächen als kontaminierte Bereiche anzusehen, so dass bei der Begehung und bei der Durchführung von Arbeiten von einem Umgang mit Gefahrstoffen auszugehen ist und entsprechende Schutz- und Vorsorgemaßnahmen getroffen werden müssen. Die dazu gültigen Richtlinien sind in der Gefahrstoff-Verordnung (GefStoffV) und den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere in der TRGS 524 „Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ enthalten.

TRGS 524

In der Neufassung der TRGS 524 wurden die Bestimmungen der BGR 128 „Kontaminierte Bereiche“ und der vormaligen TRGS 524 zusammengefasst. Die TRGS 524 nennt die verschiedenen Pflichten des Auftraggebers (Grundstückseigentümer, Pflichtiger) und des Auftragnehmers (Ingenieurbüro, Bohrfirma, andere ausführende Unternehmen und Subunternehmen). Dabei beschreibt die TRGS 524 die Methodik, wie eine Gefährdungsbeurteilung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen erfolgen soll.

Gefährdungslage bei orientierenden Untersuchungen schwer einschätzbar

Besonders bei der orientierenden Untersuchung ergibt sich das Problem, dass die Gefährdungslage häufig nicht exakt im Voraus bekannt ist und daher die erforderlichen Schutzmaßnahmen nur schwer abgeleitet werden können. Dabei kann es trotz sorgfältiger Vorbereitung zu unerwarteten Gefährdungssituationen kommen, die eine Anpassung von Schutzmaßnahmen erfordern. Dieser Umstand verpflichtet alle Beteiligten auf dem Erkundungssektor zu besonders sorgfältigem und verantwortungsbewusstem Handeln. Bei der technischen Erkundung muss der Schutz des Personals einen hohen Stellenwert einnehmen. Der Arbeitsschutz darf nicht aus Unkenntnis und Kostengründen vernachlässigt werden.

Pflichten des Auftraggebers

Dem Eigentümer einer Verdachtsfläche bzw. dem zur Untersuchung eines kontaminierten Bereiches Verpflichteten kommt dabei als Auftraggeber eine zentrale Aufgabe zur Sicherstellung des Arbeitsschutzes zu (Abbildung 1). Er ist verpflichtet, im Vorfeld einer Untersuchung das Gefährdungspotenzial, das von einer vermuteten oder bekannten Kontamination ausgeht, zu ermitteln oder zumindest für die Ermittlung durch fachkundige Dritte ausreichende Informationen zur Verfügung zu stellen.

Arbeits- und Sicherheitsplan

Der o.g. Verpflichtung des Auftragsgebers zur Untersuchung und Einschätzung des Gefährdungspotenzials kommt der Auftraggeber i.d.R. nach, indem er einen Arbeits- und Sicherheitsplan nach TRGS 524 durch eine fachkundige Person erstellen lässt. Diese Ermittlung ist die Grundlage für die nachfolgende Gefährdungsabschätzung sowie für die anzuwendenden Arbeitsmethoden und Schutzmaßnahmen, die sich in Leistungsbeschreibungen zur Ausschreibung von Erkundungsmaßnahmen wiederfinden müssen. Der Auftraggeber muss sicherstellen, dass von ihm nur Unternehmen beauftragt werden, die in Bezug auf den Arbeitsschutz die fachliche Eignung und Qualifikation nachweisen können.

Jeder Arbeitgeber (z.B. der vom Auftraggeber beauftragte Auftragnehmer oder ein Subunternehmer) ist verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung nach TRGS 524 durch eine fachkundige Person erstellen zu lassen. Weiterhin ist er verpflichtet, Betriebsanweisungen anzufertigen und die Beschäftigten zu unterweisen.

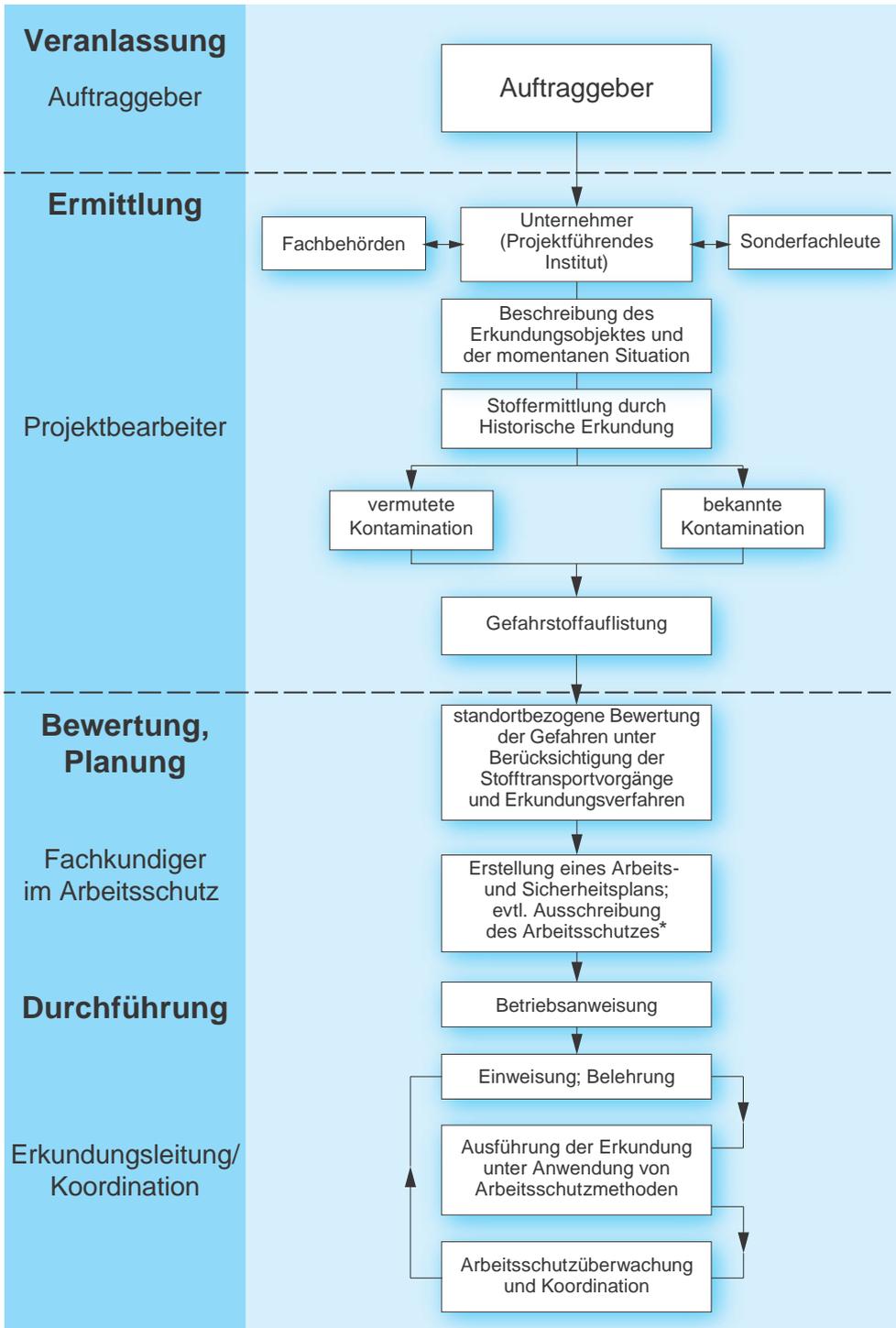


Abb. 1 Organisationsabläufe bei der Durchführung von Erkundungsmaßnahmen im Hinblick auf den Arbeitsschutz

* nur bei großen Standorten mit unterschiedlichen, teilweise parallel laufenden Untersuchungsarbeiten erforderlich.

Gefährdungs- beurteilung

Die Gefährdungsbeurteilung nach TRGS 524 beinhaltet beispielsweise Anforderungen an emissionsarme Arbeitsverfahren, Maßnahmen zur Gefahrstofffassung wie z.B. Absaugung/Belüftung, Anforderungen an Brand- und Explosionsschutz und Festlegung der persönlichen Schutzausrüstung. Tätigkeiten mit Gefahrstoffen dürfen erst aufgenommen werden, wenn die Gefährdungsabschätzung vorliegt und die erforderlichen Maßnahmen ergriffen wurden.

Die Methodik zur Gefährdungsbeurteilung und der Festlegung von Schutzmaßnahmen besteht aus folgenden Schritten:

- Ermittlung von Art, Konzentration, Toxizität und Mobilität der Gefahrstoffe,
- Ermittlung der Tätigkeiten und Arbeitsabläufe in den einzelnen Arbeitsbereichen,
- Abschätzung der Exposition der Beschäftigten (inhalative, orale, dermale Gefahrstoffaufnahme) und deren Gefährdung,
- Auswahl von Arbeitsverfahren mit der geringsten Gefährdung,
- Festlegung von geeigneten Schutzmaßnahmen,
- Kontrolle der Maßnahmen bezüglich deren Wirksamkeit.

Gefahrenpotenzial abschätzen

Zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials einer Verdachtsfläche stehen vor Beginn der technischen Erkundung im Wesentlichen nur die Historische Erkundung und die visuelle Prüfung des Geländes zur Verfügung. Erkenntnisse über Art, Konzentration und räumliche Verteilung der Gefahrstoffe sind dabei in Bezug auf den Arbeitsschutz sehr vorsichtig zu bewerten. In vielen Fällen werden nicht alle Gefährdungsmomente durch die Historische Erkundung erkannt. Im Zweifelsfall ist von der im ungünstigsten Fall zu erwartenden höchsten Kontamination auszugehen (worst case).

im Zweifelsfall „worst case“

Bei vielen Altstandorten sind die zum Einsatz gekommenen Stoffe und Stoffgruppen sowie die Produktionsprozesse und das daraus resultierende Kontaminationspotenzial kalkulierbar, so dass die Belastung des Arbeitsplatzbereiches eingegrenzt werden kann. Andere Verdachtsflächen, wie z.B. Ablagerungen oder manche Altstandorte, bei denen mit hochtoxischen oder krebserzeugenden Stoffen oder mit Krankheitserregern gerechnet werden muss, erfordern auf jeden Fall ein höheres Maß an vorbeugenden Schutzmaßnahmen. Dort ist es sinnvoll, Untersuchungsmethoden einzusetzen, die eine Schadstofffreisetzung verhindern oder verringern.

Schutzmaßnahmen

Die GefStoffV legt in § 7 eine Rangfolge von Schutzmaßnahmen fest:

- Freisetzung von Gefahrstoffen soweit wie möglich verhindern, indem geeignete Arbeitsmittel nach dem Stand der Technik eingesetzt werden
- Erfassung der Gefahrstoffe, z.B. mittels Absaugung bei der Probennahme, oder Herabsetzung der Gefahrstoffkonzentration in der Atemluft z.B. mittels Be- und Entlüftung,
- Tragen von persönlicher Schutzausrüstung.

gestufte Vorgehens- weise

Die bei Erkundungsarbeiten anwendbaren, umfangreichen persönlichen Schutzmaßnahmen (wie z.B. Vollschutz mit Atemmaske) stellen für die Benutzer z.T. erhebliche körperliche Belastungen dar. Um hier eine Entlastung des Trägers zu erreichen, ist es sinnvoll, die Körperschutzausrüstung nach einem Stufenkonzept zu planen, so dass einerseits soviel wie notwendig geschützt wird und andererseits unnötige Belastungen vermieden werden.

Bei der Durchführung einer Erkundung ist u.a. aufgrund der Unsicherheiten bei der Gefährdungsermittlung von der Leitung und den Mitgliedern eines Teams hohe Sorgfalt und Qualifikation erforderlich. Nur durch permanente Beobachtung der Gefähr-

dungslage während der Durchführung der Untersuchungsarbeiten und Anpassung der Schutzmaßnahmen kann ein verlässlicher Schutz sichergestellt werden.

Für Firmen, die mit Erkundungsarbeiten beauftragt werden sollen (auch in die Vor-Ort-Erkundung eingebundene Subunternehmer), gelten folgende Qualifikationsanforderungen:

- Es dürfen nur Firmen beauftragt werden, die ausreichende Erfahrungen mit Untersuchungen vergleichbarer Gefährdungsniveaus besitzen und durch ihre innerbetriebliche Organisation den Arbeitsschutz sicherstellen.
- Die Auftragnehmer müssen über die erforderlichen technischen und persönlichen Schutzeinrichtungen verfügen.
- Die Arbeiten müssen von einer fachlich geeigneten Person unter Berücksichtigung der besonderen Gefahren in kontaminierten Bereichen geleitet und überwacht werden. Dazu muss ein von den Berufsgenossenschaften anerkannter Lehrgang erfolgreich absolviert worden sein.
- Das Untersuchungspersonal muss mit den durchzuführenden Arbeiten vertraut sein und die vorgesehenen Schutzausrüstungen anwenden können.
- Der Gesundheitszustand aller Beschäftigten muss überwacht werden. Dazu sind regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen nach berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen durchzuführen.
- Eine ausreichende Zahl von Beschäftigten, die auf Verdachtsflächen Untersuchungen durchführen, soll als Ersthelfer ausgebildet sein.

Werden zur Erkundung einer Verdachtsfläche Beschäftigte mehrerer Auftragnehmer gleichzeitig tätig (z.B. Untersuchungsteams des Ingenieurbüros und der Bohrfirma), so hat der Auftraggeber einen Koordinator zu bestellen, um gegenseitige Gefährdungen auszuschließen und die lückenlose sicherheitstechnische Überwachung der verschiedenen Arbeiten zu gewährleisten (§ 15 GefStoffV; Nr. 3.2.2 TRGS 524). Der Koordinator muss zur Durchführung seiner Aufgaben geeignet sein und die notwendige Fachkunde besitzen. Der Auftraggeber hat dafür zu sorgen, dass der Koordinator im Hinblick auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz Weisungsbefugnis gegenüber allen Unternehmen und deren Beschäftigten hat.

Qualifikationsanforderungen

Koordinator mit Weisungsbefugnis

1.5.2 Risiken bei der Durchführung von Erkundungsarbeiten

Üblicherweise werden zur Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen Boden-, Wasser- und Bodenluftproben genommen. Die Gewinnung dieser Proben setzt die Anwendung der in diesem Handbuch beschriebenen Methoden voraus.

Je nach Untersuchungsverfahren können dabei feste, flüssige und gasförmige Emissionen auftreten. Durch freigesetzte Gefahrstoffe können folgende Risiken entstehen:

- Gefahrstoffaufnahme durch Inhalation und Hautkontakt,
- Verschleppung von Gefahrstoffen durch Erkundungsgeräte, Fahrzeuge und Arbeitskleidung in nicht belastete Arbeitsbereiche und den häuslichen Bereich,
- gesundheitliche Gefährdung durch pathogene Keime, Pilze und Bakterien,
- Brand- und Explosionsgefahr bei Bildung von zündfähigen Gemischen,
- Gefährdung der Nachbarschaft durch Gefahrstoffemissionen.

Risiken durch Kampfmittel

Mit kriegsbedingten Bombenblindgängern ist zu rechnen, wenn Grundstücke im 2. Weltkrieg industriell oder als Bahnanlagen genutzt wurden. Eine Verpflichtung zur Gefahrenerforschung ergibt sich für den Auftraggeber von Erkundungsmaßnahmen, wenn es Hinweise auf eine Kampfmittelbelastung gibt. Zuständig für ganz Hessen ist der Kampfmittelräumdienst (KMRD) beim Regierungspräsidium Darmstadt.

Im Verdachtsfall stellt der Auftraggeber eine schriftliche Anfrage mit einem Lageplan (Maßstab 1: 10 000 oder 1: 25 000), auf dem die Grenzen des zu untersuchenden Grundstücks markiert sind. Der KMRD gibt Auskunft, ob auf dem Grundstück mit einer Kampfmittelbelastung zu rechnen ist, z.B. weil sich die Fläche in einem Bombenabwurfgebiet befindet. Weiterhin wertet der KMRD die alliierten Kriegsluftbilder aus. Der KMRD erarbeitet eine Stellungnahme, aus der die vorhandene Kampfmittelbelastung des Grundstückes hervorgeht. Die für die Kampfmittelräumung erforderlichen Arbeiten werden beschrieben. Für die Überprüfung/Räumung des Grundstücks ist eine anerkannte Kampfmittelräumfirma zu beauftragen.

Sonstige Risiken

Weitere mögliche standortbezogene Risiken, die im Hinblick auf den Arbeitsschutz relevant sein können, sind:

- Gefahren durch Verkehrsmittel in entsprechenden Arbeitsbereichen (z.B. Straßen- und Schienenfahrzeuge),
- Gefahren durch ungesicherte Erd- und Felsmassen sowie nicht standsichere Bauwerke (Gefahren aus Gefügestörungen des Bodens durch Schürfe),
- Gefahren durch Versorgungsleitungen (z.B. Gas, Wasser, Strom, Abwasser),
- Gefahren durch artesisch gespanntes Grundwasser,
- Gefahren durch verborgene Altmunition als Folge von Kriegsereignissen,
- Gefährdungen durch Lärm und Erschütterungen erzeugende Arbeitsgeräte,
- Absturzgefahren bei hochgelegenen Arbeitsplätzen oder bei Schächten.

Bodenprobennahme

Die Bodenprobennahme erfolgt in der Regel durch Sondierungen, Bohrungen und Schürfe. Die durch diese Methoden verursachten Veränderungen des Bodengefüges können zu erhöhten Schadstoffemissionen führen. Aus diesem Grund sind aus der Sicht des Arbeitsschutzes z.B. Bohrungen mit geringen Gefügeveränderungen (kleine Durchmesser) zu bevorzugen, während die Zulässigkeit von Schürfen wegen der Umlagerung von großen Erdmassen kritisch zu prüfen ist. Werden Schürfe im Bereich von Altablagerungen oder vermuteten Belastungen mit leichtflüchtigen Schadstoffen angelegt, so sind die Arbeiten mit PID, FID oder Prüfröhrchen zu überwachen.

Wasserprobennahme

Die Wasserprobennahme erfolgt aus Messstellen oder Förderbrunnen. In besonderen Fällen werden auch fließende oder stehende Gewässer sowie Quellen und Sickerwässer beprobt. Dabei können im Wasser enthaltene Gefahrstoffe bei Hautkontakt zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Darüber hinaus können aus dem Wasser gasförmige Gefahrstoffe austreten. Diese Gefährdungsmöglichkeit ist insbesondere beim Öffnen von Messstellen zu beachten.

Die Gefährdungswahrscheinlichkeit richtet sich bei einer Grundwasserbeprobung nach der Lage der Messstelle zum Kontaminationsherd. In der Regel ist bei Messstellen, die im Zustrombereich von Verdachtsflächen liegen, eine Gefährdung auszuschließen, während im Abstrombereich von einer Gefährdung auszugehen ist und Schutzmaßnahmen vorzunehmen sind. Bohrungen zur Einrichtung von Messstellen sind ebenfalls nach ihrer Lage zum Kontaminationsherd (Ab- oder Zustrombereich) zu bewerten.

Das Gefährdungspotenzial von Deponiesickerwasser ist in der Regel nicht ausreichend abschätzbar. Darum ist bei einer Beprobung besonderes Augenmerk auf Schutzmaßnahmen zu richten.

Bei der Bodenluftprobennahme sollten die Rohröffnungen grundsätzlich verschlossen gehalten werden, da sonst Gase in die Atmosphäre austreten können. Eine Beprobung kann über Ventile und Schlauchanschlüsse erfolgen, so dass auf spezielle Schutzmaßnahmen während der Probennahme in der Regel verzichtet werden kann.

Zum Ausbau von Bodenluftmessstellen und -brunnen sind Bohrungen erforderlich. Ähnlich wie bei der Bodenprobennahme werden auch hier die Bohrungen in der Regel direkt im Bereich der Verdachtsfläche durchgeführt. Dabei besteht prinzipiell das gleiche Gefährdungspotenzial wie bei der Bodenprobennahme, so dass entsprechende Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Riechversuche als Teil der organoleptischen Ansprache an Probenmaterialien sind im Rahmen der Erkundung auszuschließen, insbesondere bei unbekanntem Schadstoffspektrum. Durch die Verwendung von geeigneten Feldmessgeräten, z.B. Photo- und Flammenionisationsdetektoren (PID und FID) können ausgasende organische Substanzen halbquantitativ erfasst werden. Das Auftreten geruchsintensiver Stoffe, die ohne spezielle Riechversuche wahrgenommen werden, muss selbstverständlich im Probennahmeprotokoll vermerkt werden.

**Bodenluft-
probennahme**

**keine
„Riechversuche“**

1.6 Anforderungen an Gutachten

Die Dokumentation und Bewertung der erhaltenen Untersuchungsergebnisse erfolgt in einem Gutachten. Im **Anhang** zu diesem Handbuch ist eine Standardgliederung für Gutachten zur Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen beigefügt. Diese soll als Orientierung für Gutachterbüros und Fachbehörden dienen.

Die in der Standardgliederung enthaltenen Haupt- und Unterkapitel sollten in der angegebenen Reihenfolge verwendet werden. Die darüber hinaus enthaltenen Spiegelstrichaufzählungen kennzeichnen optionale Inhalte, die je nach Standort berücksichtigt werden müssen.

**Standardgliederung
für Gutachten**

1.7 Altflächendatei

Bei der Erfassung, Untersuchung, Sanierung und Überwachung von Verdachtsflächen, Altlasten und Grundwasserschadensfällen fallen Daten mit unterschiedlichstem Bezug und in unterschiedlichster Form an.

Die Landesverwaltung verfügt nach § 8 des Hessischen Altlasten- und Bodenschutzgesetzes (HAltBodSchG) über ein zentrales Informationssystem: die Altflächendatei.

Diese ist Teil des hessischen Bodeninformationssystems nach § 7 HAltBodSchG, das bodenschutzrelevante Daten umfasst, die bei den Landes- und Kommunalbehörden und den der Aufsicht des Landes unterstehenden Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts verfügbar sind.

**Zentrales
Informationssystem
für Altstandorte und
Altablagerungen**

In der Altflächendatei werden Daten über Altablagerungen, Altstandorte, altlastverdächtige Flächen, Altlasten, Verdachtsflächen und schädliche Bodenveränderungen in Hessen erfasst. Die Daten sind erforderlich für

- die Ermittlung und Bewertung der von diesen Flächen ausgehenden Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit,
- die Entscheidung über das Vorliegen einer Altlast,
- die Durchführung oder Anordnung von Maßnahmen zur Überwachung und Gefahrenabwehr,
- die Ermittlung und Bewertung des Umfangs der Sanierungsmaßnahmen.

Die Altflächendatei ist laufend fortzuschreiben, die darin enthaltenen Daten sind zeitlich unbeschränkt aufzubewahren.

Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie führt die Altflächendatei in Zusammenarbeit mit den Bodenschutzbehörden der Regierungspräsidien, Landkreise und kreisfreien Städte.

Das HAltBodSchG berechtigt Behörden, Gebietskörperschaften und den Träger der Altlastensanierung, erforderliche Daten für folgende Zwecke zu erheben und zu verarbeiten (§ 9 HAltBodSchG):

- Vorbereitung, Überwachung und Durchführung der ordnungsgemäßen bodenschutzrechtlichen Verfahren sowie Bauleitplanung und Baugenehmigungsverfahren,
- Durchführung von Anzeige-, Genehmigungs-, Planfeststellungs- und sonstigen Zulassungsverfahren, die im Zusammenhang mit den Zwecken in Nr. 1 stehen.

Die Gemeinden und die öffentlich-rechtlichen Entsorgungspflichtigen sind gemäß § 8 HAltBodSchG verpflichtet, ihre Erkenntnisse über Altflächen und schadstoffbedingte Verdachtsflächen dem HLUG mitzuteilen. Die Übermittlung der Daten erfolgt gemäß Altflächendatei-Verordnung in elektronischer Form (§ 2 Abs. 1 AFD-VO).

Während des altlasten- und bodenschutzrechtlichen Verfahrens übernimmt die zuständige Bodenschutzbehörde die Fortschreibung der Daten. Die Untersuchungspflichtigen und Sanierungsverantwortlichen sind verpflichtet, ihre Daten aus der Untersuchung und Sanierung in elektronischer Form an die verfahrensführende Behörde zu übergeben (§ 2 Abs. 3 AFD-VO).

Das **Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG)** ist die zentrale Komponente der Altflächendatei zur Erfassung und Auswertung der darin enthaltenen Daten.

Der Datenaustausch zwischen dem FIS AG und den Pflichtigen (Kommunen, Untersuchungspflichtige, Sanierungsverantwortliche) oder deren Beauftragten (Ingenieurbüros, Sachverständige, Untersuchungsstellen) erfolgt auf elektronischem Weg über das **Datenübertragungssystem DATUS**.

Die technischen Anforderungen für den Datenaustausch legt das HLUG fest. Sie werden auf der Internetseite www.hlug.de veröffentlicht.

Für die Datenübertragung werden zwei Alternativen angeboten:

- die offene xml-Schnittstelle
- die Anwendung DATUS mobile

HLUG führt die Altflächendatei in Zusammenarbeit mit den Bodenschutzbehörden

Gemeinden und Entsorgungspflichtige übermitteln dem HLUG ihre Kenntnisse über Altflächen und Verdachtsflächen

FIS AG

DATUS

Über DATUS besteht die Möglichkeit, die bei Untersuchungen anfallenden Daten (Messstellen-Stammdaten, Probennahmeprotokolle und Messwerte) in das FIS AG zu übertragen.

Ablauf der Datenübertragung mit DATUS:

- Von der Internetseite des HLOG kann DATUS mit allen erforderlichen Dateien und Anwendungen sowie aktuellen Informationen kostenlos herunter geladen werden (hlog.de > Altlasten > Datus).
- Der Gesamtumfang der Datenfelder von FIS AG und damit auch von DATUS mobile ist im Internet einzusehen unter hlog.de > Altflächendatei > Datenumfang FIS AG.
- Vor der Erfassung der Daten müssen in jedem Fall beim HLOG die bereits im FIS AG vorhandenen Daten zu der jeweils zu untersuchenden Fläche angefordert werden.
- Welche Daten konkret erfasst und übermittelt werden sollen, ist mit der zuständigen Behörde zu besprechen.
- Das Ergebnis der Datenerfassung ist als verschlüsselte xml-Datei an das HLOG (datus-fis-ag@hlog.hessen.de) zu senden.

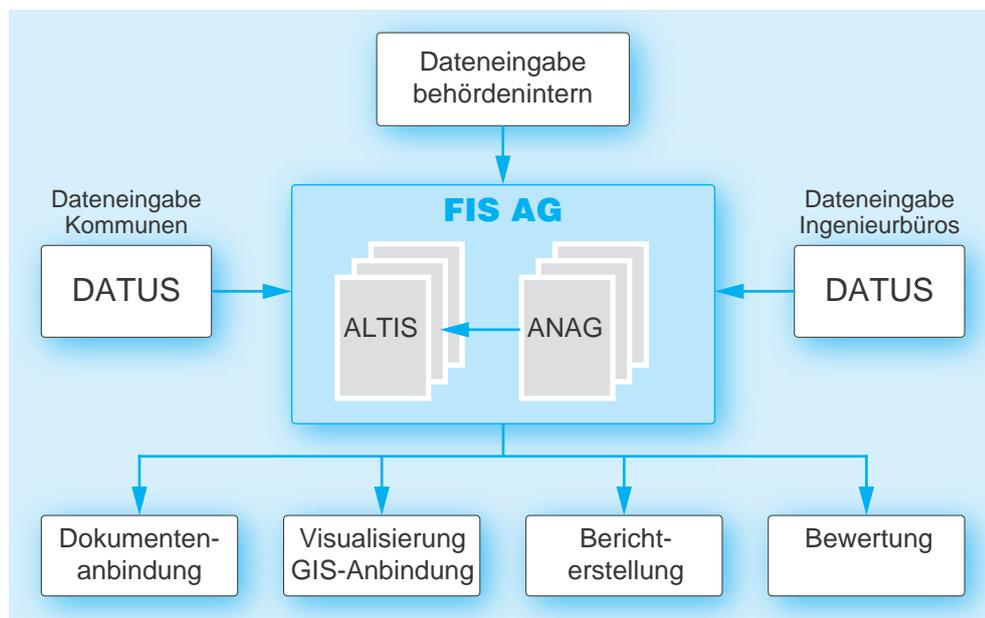


Abb. 2
Datenfluss und Datenhaltung in der Altflächendatei des Landes Hessen

2 Historische Erkundung

der „erste Schritt“

Die Historische Erkundung ist der erste Schritt bei der gezielten Untersuchung einzelner Altstandorte und Altablagerungen. Sie beinhaltet die Beschaffung und Auswertung aller relevanten Informationsquellen mittels Aktenrecherche, Karten- und Luftbildauswertung, Ortsbegehung und Zeitzeugenbefragung.

Ziele

Die Historische Erkundung kann mehrere Ziele verfolgen:

- Klärung, ob bei einer Fläche Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast gegeben sind (§ 3 BBodSchV Abs. 1–3),
- Ermittlung der ehemaligen Produktionsprozesse sowie der Einsatzstoffe und Abfallprodukte bei Altstandorten,
- möglichst exakte Lokalisierung der altlastenrelevanten Anlagen und ehemaligen Nutzungen,
- Ermittlung der Betriebsstruktur bei Altstandorten (Recherche des potenziellen Handlungs- oder Zustandsstörers),
- Abschätzung der Größe und des Verfüllzeitraums bei Altablagerungen,
- Recherche nach vorhandenen Brunnen und Grundwassermessstellen.

weiteres Vorgehen

Ergeben sich durch die Historische Erkundung Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Kontamination, handelt es sich bei der untersuchten Fläche um eine altlastverdächtige Fläche im Sinne des § 2 Abs. 6 BBodSchG. Zur Bestätigung oder Entkräftung des Verdachtes sind im Anschluss an die Historische Erkundung technische Erkundungsmaßnahmen erforderlich, wie sie im vorliegenden Handbuch beschrieben sind. Die Erkenntnisse aus der Historischen Erkundung bilden dabei die Grundlage für das Untersuchungskonzept der technischen Untersuchung, anhand der die Probennahmepunkte festgelegt und die Analysenparameter gezielt ausgewählt werden können.

Die Historische Erkundung ist im Handbuch Altlasten Band 3 Teil 1 „Einzelfallrecherche“ beschrieben (HLUG 2012).

3 Wassererkundung

3.1 Allgemeines, Zielsetzung

3.1.1 Definitionen

Gewässer und insbesondere Grundwasser gehören zu den von Altablagerungen und Altstandorten bedrohten und besonders empfindlichen Schutzgütern. Für die einzelnen Gewässer gelten folgende Definitionen (DIN 4049-3):

- Oberirdische Gewässer sind natürliche oder künstliche Fließ- und Stillgewässer.
- Sickerwasser ist das im Bereich der wasserungesättigten Bodenzone vorhandene Wasser, das sich unter der Einwirkung der Schwerkraft abwärts bewegt.
- Grundwasser ist unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdkruste zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich von der Schwerkraft bestimmt wird. Nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL 2000) ist Grundwasser alles unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden und Untergrund steht. Stauwasser ist Grundwasser, das nur zeitweilig über Schichten mit geringer Wasserleitfähigkeit auftritt.

Definitionen

3.1.2 Ausbreitung und Transport von Schadstoffen

Grundwassergefährdende Stoffe können auf verschiedenen Wegen von der Kontaminationsquelle einer altlastverdächtigen Fläche zum Grundwasser gelangen. Dabei erfolgt der Schadstoffeintrag ins Grundwasser entweder über Sickerwasser, welches beim Durchströmen der Kontaminationsquelle Schadstoffe aufnimmt, oder über direkten Kontakt des Grundwassers mit der Kontaminationsquelle. Wenn sich die Kontaminationsquelle vollständig innerhalb des Grundwasserkörpers befindet oder teilweise in diesen hineinreicht, kann eine intensive Mobilisierung von Schadstoffen erfolgen. Dies führt zu vergleichsweise hohen Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser. Eine andere Eintragsmöglichkeit besteht im direkten Einsickern einer flüssigen Schadstoffphase in das Grundwasser. Flüssigkeiten mit geringerer Dichte als Wasser, die nicht mit Wasser mischbar sind (z.B. Mineralöle), können sich auf der Grundwasseroberfläche lateral in Phase ausbreiten. In diesem Fall spricht man von sog. LNAPL-Phasen (**L**ight **N**on-**A**queous **P**hase **L**iquids). Flüssigkeiten mit höherer Dichte als Wasser, wie z.B. die meisten chlorierten Kohlenwasserstoffe, können bis zur Sohle des Grundwasserleiters absinken und sich dort ansammeln. Diese Phasen werden als DNAPL (**D**ense **N**on-**A**queous **P**hase **L**iquids) bezeichnet. Im Kontaktbereich Wasser/Schadstoffphase kann die Schadstoffkonzentration im Wasser die maximale Löslichkeit der Stoffe erreichen, bei Anwesenheit von Lösungsvermittlern sogar übersteigen.

Schadstoffeintrag in das Grundwasser

Schadstoffphase

LNAPL

DNAPL

Eine Grundwasserkontamination durch leichtflüchtige Schadstoffe erfolgt auf zwei Wegen. Einerseits können die Schadstoffe sich im Sickerwasser lösen und im Zuge der Grundwasserneubildung ins Grundwasser migrieren. Andererseits können Schadstoffdämpfe direkt zur Grundwasseroberfläche gelangen und sich im Grundwasser lösen.

leichtflüchtige Schadstoffe

Eine Kontamination von oberirdischen Gewässern kann einerseits durch Zutritt von kontaminiertem Grundwasser oder Sickerwasser bzw. durch Abschwemmung oder

Verunreinigung oberirdischer Gewässer

Überflutung erfolgen. Auch ein direkter Kontakt mit der Schadstoffquelle, wie er bei Ablagerungen in einem Gewässer vorliegt, kann eine Kontamination verursachen.

Schadstoff- mobilisierung

Die Mobilisierung bodengebundener Schadstoffe wird insbesondere durch die Stoffeigenschaften (u.a. Wasserlöslichkeit, Dampfdruck, Tendenz zur Sorption), aber auch durch die physikalisch-chemischen Milieubedingungen (z.B. Temperatur, pH-Wert, Redoxpotenzial) bestimmt. Mobilisierte Schadstoffe können verfrachtet werden und dadurch eine Konzentrationszunahme im Sickerwasser, Grundwasser oder in einem oberirdischen Gewässer erzeugen (HLUG 2002).

Die zeitliche Entwicklung der Schadstoffeinträge ins Grundwasser oder in ein oberirdisches Gewässer ist abhängig von:

- Quellstärke und Schadstoffinventar,
- Stetigkeit und Umfang des Zustroms bzw. Kontaktes zum Grundwasser oder zum oberirdischen Gewässer,
- Verweildauer des Sickerwassers und Stofftransport in der ungesättigten Zone.

Schadstofftransport im Grundwasser

Die räumliche Ausbreitung der Kontamination im Grundwasser ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Hierzu zählen:

- hydrogeologische Gegebenheiten (vor allem die hydraulische Leitfähigkeit und der hydraulische Gradient),
- Sorption (Bindung an feste Bodenbestandteile),
- Matrixdiffusion in Porenräumen toniger Gesteine,
- Verdünnung (primär durch Dispersion),
- Bioakkumulation (Aufnahme und Akkumulation in Organismen),
- Abbau (abiotisch und biotisch),
- schadstoffspezifische physikalisch-chemische Eigenschaften.

Natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen

Die Prozesse, die zu einer Konzentrationsabnahme führen, können nichtdestruktiv sein, wie Advektion, Dispersion, Verflüchtigung, Sorption und Immobilisierung oder destruktiv wie mikrobieller und abiotischer Abbau. Nur die destruktiven Prozesse führen letztlich zu einer Entfernung der Schadstoffe aus der Umwelt. Die Prozesse laufen immer ab, auch wenn es zu erheblichen Ausbreitungen der Schadstoffe und massiven Beeinflussungen von Schutzgütern gekommen ist. Unter günstigen Bedingungen führen die im Untergrund ablaufenden Abbau- und Rückhalteprozesse dazu, dass die Ausbreitung von Schadstoffen in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone verlangsamt bzw. sogar gestoppt wird (dynamisches Gleichgewicht) (HLUG 2005a).

Beim mikrobiellen Abbau ist zu unterscheiden, ob eine Mineralisierung (vollständige Umwandlung zu mineralischen Endprodukten) oder eine Transformation (Umwandlung zu Metaboliten) auftritt. Die Halbwertszeiten des mikrobiellen Abbaus sind u.a. bestimmt durch die Verfügbarkeit von geeigneten Elektronenakzeptoren, Mikroorganismen mit den entsprechenden Abbaupotenzialen sowie durch das vorherrschende biochemische Milieu.

MKW-, LCKW- Ausbreitung

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Ausbreitung von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) und leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW) in der gesättigten und ungesättigten Zone. Die beiden Stoffgruppen zeigen ein deutlich unterschiedliches Ausbreitungsverhalten, das primär von der Löslichkeit und der Dichte der Schadstoffphasen bestimmt wird.

Einige Schadstoffe, wie z.B. Schwermetalle, Pestizide, PAK, und PCB, reichern sich auch im Sediment von oberirdischen Gewässern an. Daher können auch länger zurückliegende Schadstoffeinträge durch die Analyse der Sedimente gegebenenfalls noch erfasst werden (s. auch Kap. 3.4.4).

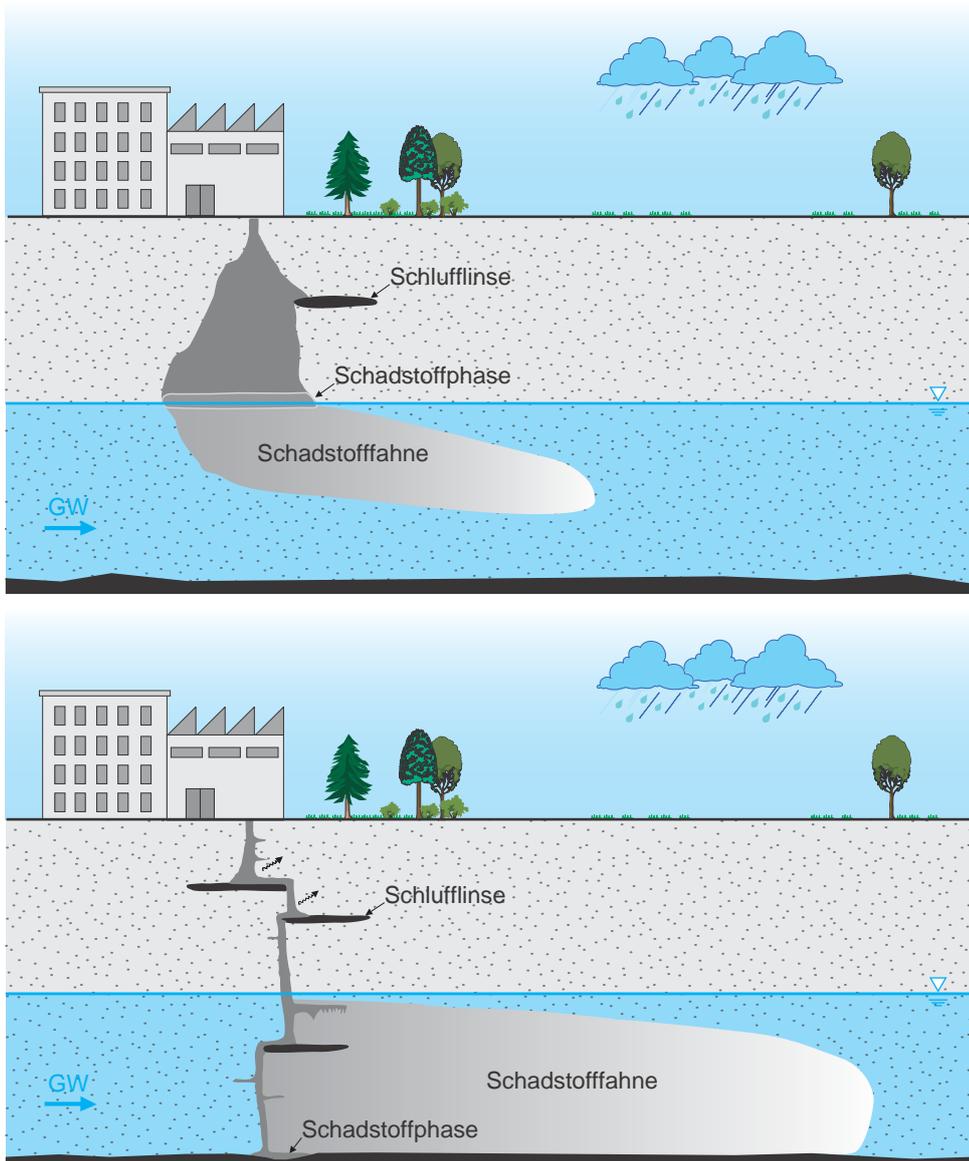


Abb. 3
Schema der Ausbreitung von Kohlenwasserstoffen (oben) und leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (unten) in der gesättigten und ungesättigten Zone eines Porengrundwasserleiters

3.1.3 Zielsetzung

Die Untersuchung von Grundwasser und oberirdischen Gewässern kann bereits im Rahmen von orientierenden Untersuchungen erfolgen. Insbesondere beim Vorliegen größerer Flurabstände wird bei orientierenden Untersuchungen häufig auf Grundwasseruntersuchungen verzichtet, so dass die erstmalige Grundwasseruntersuchung erst im Rahmen einer Detailuntersuchung stattfindet. In den folgenden Kapiteln wird zwischen „erstmaliger Untersuchung“ und „vertiefender Untersuchung“ unterschieden. Die erstmalige Untersuchung kann im Rahmen einer orientierenden Untersuchung oder Detailuntersuchung stattfinden, die vertiefende Untersuchung ist dagegen immer Bestandteil einer Detailuntersuchung.

Ziele

Die erstmalige Untersuchung des Wassers soll eine Klärung dahingehend ermöglichen, ob von der Verdachtsfläche

- Schadstoffe bereits in das Grundwasser oder oberirdische Gewässer eingetragen wurden,
- eine wesentliche Beeinträchtigung des Grundwassers oder oberirdischer Gewässer ausgeht.

Arbeitshilfen Qualitätssicherung

Darüber hinaus soll die durchgeführte Beprobung und Analytik Aufschluss über die Art der Schadstoffe auf der Verdachtsfläche geben. Weitere Informationen finden sich in den Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbehandlung (HLUG 2001a).

Ist nach Ausschluss von Untersuchungsfehlern und einer mindestens zweimaligen Beprobung (Kap. 3.2.3) keine Beeinflussung oder Beeinträchtigung des Mediums Wasser feststellbar, kann i.d.R. auf eine weitere Grundwasseruntersuchung im Bereich dieser Verdachtsfläche verzichtet werden.

Sickerwasser- prognose

Unter Umständen ist eine längerfristige Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit erforderlich, falls aufgrund der am Standort vorhandenen Stoffe und der Untergrundverhältnisse prinzipiell mit Grundwasserbeeinträchtigungen zu rechnen ist. Ob dieser Fall relevant ist, kann mit Hilfe der Sickerwasserprognose (Kap. 6) auf Basis von Bodenuntersuchungen entschieden werden.

Ergeben sich aus der Wasseruntersuchung jedoch konkrete Hinweise auf eine vorhandene Beeinflussung von Grundwasser oder oberirdischen Gewässern, so sind weitere vertiefende Untersuchungen durchzuführen, gegebenenfalls auch Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr.

3.2 Erkundungskonzept

3.2.1 Grundlagen

einzelfallspezifische Charakteristika

Das Erkundungskonzept ist auf die Untersuchungsziele und auf die einzelfallspezifischen Charakteristika des altlastverdächtigen Geländes abzustimmen, wie z.B.:

- vorhandene Nutzung,
- während der Nutzung des Grundstücks verwendete Stoffe oder erfolgte Ablagerung (Ergebnis der Historischen Erkundung),
- Lage und flächenhafte Ausdehnung von Schadstoffquellen bzw. von Gefahrenherden,
- Bereiche mit verschiedenen Schadstoffgruppen (z.B. verschiedene Einlagerungsbereiche oder Produktionsstätten),
- Lage in einem Wasser- oder Heilquellenschutzgebiet oder Überschwemmungsgebiet,
- Hydrogeologie (u.a. Untergrundaufbau, Grundwasserfließrichtung, Hydraulik, Grundwasserflurabstand).

Erkundungsumfang

Aufbauend auf den Ergebnissen aus der Historischen Erkundung (HLUG 2012) sind Art und Umfang der Wasseruntersuchung festzulegen. Vor deren Durchführung sind insbesondere folgende Punkte zu klären:

- Lage, Anzahl und Anordnung der erforderlichen Messstellen,
- Art bzw. Eignung der Messstellen,

- Art der Probengewinnung,
- Probenanzahl und Probenverteilung,
- Messturnus, Überwachungsintervall,
- Randbedingungen für Feldarbeiten,
- Arbeitsschutz,
- Analysenparameter (Feld- und Laborparameter),
- Analysenverfahren (einschließlich Bestimmungsgrenzen).

Ergibt diese Prüfung, dass ggf. bereits vorhandene Messstellen hinsichtlich Lage, Anzahl und Anordnung für eine erstmalige Untersuchung nicht ausreichend sind, müssen weitere Messstellen errichtet werden (Kap. 3.3).

3.2.2 Messstellenauswahl

Zur direkten Erkundung des Grundwassers sind Messstellen erforderlich. Vorhandene Messstellen und Brunnen sollten nur dann einbezogen werden, wenn diese hydraulisch funktionstüchtig sind und eine Beschreibung (sog. Stammdaten) mit zumindest folgenden Angaben vorliegt:

- Baujahr,
- Tiefe,
- Lage und Länge der Filterstrecke,
- Ausbaudurchmesser,
- Ausbaumaterial,
- Bohrprofil.

Bei der Planung zur Neuerrichtung von Grundwassermessstellen (Art, Anzahl, Lage und Anordnung) sind bereits vorhandene Messstellen, Brunnen, Sickerwasseraustritte und Quellen sowie eventuell vorliegende Daten zu deren Beschaffenheit (Untergrundaufbau, Wasserqualität, Messstellenausbau) soweit wie möglich zu berücksichtigen. Ggf. können mit geophysikalischen Messungen an bestehenden Grundwassermessstellen (z. B. Gammalog, Temperaturlog, Salinitätslog, Flowmeterlog) Hinweise für die geeignete Positionierung neuer Messstellen gewonnen werden.

Im Zuge des Messstellenbaus werden sowohl Kenntnisse über den geologischen Untergrundaufbau (Schichtenfolge, Anzahl der Grundwasserstockwerke usw.) als auch erste Kenntnisse über die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters gewonnen. Eine detaillierte Ermittlung der hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters erfordert jedoch die Durchführung von Pumpversuchen an den Grundwassermessstellen (DVGW 111).

Für die Ermittlung der lokalen Grundwasserfließrichtung sind mindestens drei, möglichst in Form eines gleichseitigen Dreiecks angeordnete Messstellen erforderlich. Mit Hilfe eines solchen „Hydrologischen Dreiecks“ und Stichtagsmessungen der Grundwasserstände lässt sich über Grundwassergleichen die generelle Grundwasserfließrichtung ermitteln. Hierbei ist es erforderlich, dass die Messstellen im gleichen Grundwasserleiter verfiltert sind, und dass zwischen den Messstellen annähernd homogene und isotrope Verhältnisse vorliegen.

Zur Beurteilung, ob die Grundwasserbeschaffenheit durch Stoffaustrag aus der Verdachtsfläche beeinträchtigt wird, ist für Vergleichsmessungen mindestens eine

vorhandene Messstellen

Planung neuer Messstellen

Untergrundaufbau

Grundwasserfließrichtung

Anzahl der Grundwassermessstellen

Grundwassermessstelle im Oberstrom, also in dem von der Verdachtsfläche unbeeinflussten Grundwasserleiter, erforderlich. Die erforderliche Anzahl von Messstellen im Abstrom der Verdachtsfläche hängt wesentlich davon ab, welches Ausmaß die Schadstofffahne im Grundwasser angenommen hat. Dabei soll eine detaillierte Erkundung der gesamten Schadstofffahne sowohl in lateraler als auch in longitudinaler Ausdehnung möglich sein. In regelmäßigen Abständen von der Schadensquelle sollen Messstellengalerien senkrecht zur Ausbreitungsrichtung errichtet werden. Eine Beweissicherungsmessstelle abstromig der Fahne ist ebenfalls erforderlich. Die Abstände der Messstellen voneinander sowie von der Schadensquelle richten sich nach der Ausdehnung der Fahne. Geeignet sind Abstände von 20 m bis über 100 m bei Lockergesteinen (Porengrundwasserleitern). In Festgesteinen können, bedingt durch hydraulisch anisotrope Verhältnisse (Kluft- und Störungssysteme) auch geringere Abstände zweckmäßig sein.

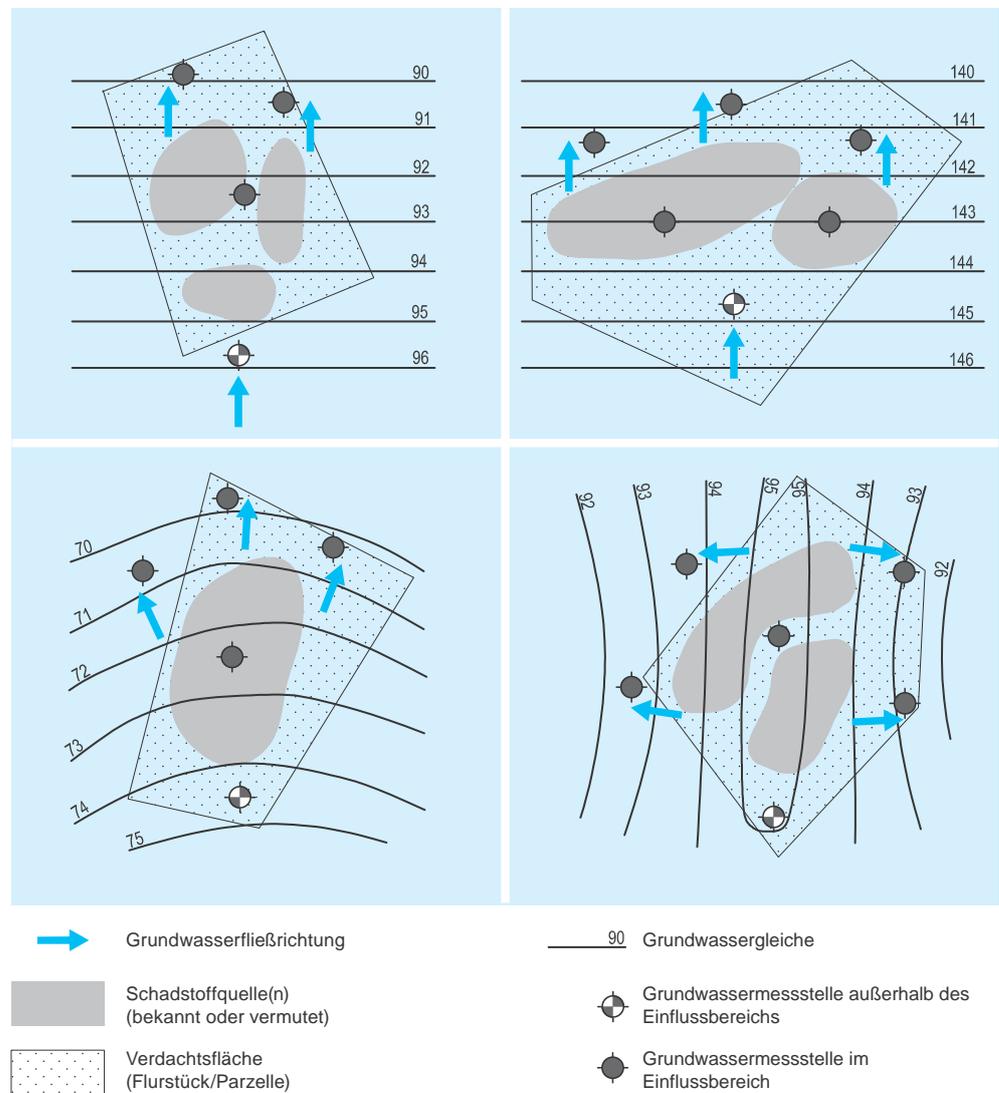


Abb. 4
Anzahl und Anordnung von Grundwassermessstellen

Die insgesamt erforderliche Anzahl der Grundwassermessstellen kann sich weiter erhöhen, wenn:

- mehrere Grundwasserstockwerke, ggf. mit hydraulischen Fenstern oder schwebendes Grundwasser vorliegen,
- im Bereich der Verdachtsfläche komplexe Grundwasserströmungsverhältnisse vorliegen, z.B. durch Vorhandensein einer nicht ortstabilen Grundwasserscheide oder durch eine saisonal sich ändernde Grundwasserfließrichtung,
- die Grundwasserbewegung in Festgesteinen ungleichförmig erfolgt, z.B. vorzugsweise oder ausschließlich über Großklüfte oder Verwerfungen oder über Karsthohlräume bzw. Karstsysteme.

Die Vorgehensweise bei der Messstellenauswahl ist stets eine Einzelfallentscheidung und muss den Besonderheiten und Charakteristika einer Verdachtsfläche in hohem Maße Rechnung tragen.

Abbildung 4 zeigt exemplarisch Anzahl und Anordnung von Messstellen zur Ermittlung der Grundwasserbeschaffenheit in Abhängigkeit von der Grundwasserfließrichtung und der flächenhaften Ausdehnung der Verdachtsfläche.

Anordnung der Messstellen

Bei der Platzierung der Messstellen müssen auch Randbedingungen wie Zugänglichkeit (Bebauung, Bewuchs), Befahrbarkeit des Geländes (insbesondere bei durchnässtem Oberboden) und im Untergrund vorhandene Leitungen berücksichtigt werden.

Ist es im Rahmen der Erkundung erforderlich, Messstellen durch den Deponiekörper hindurch zu errichten, müssen wegen der bei der Errichtung für das Personal bestehenden Gefährdung und wegen möglicher Schadstoffverschleppung in tiefere, bisher unbeeinflusste Untergrundbereiche besondere technische Vorkehrungen ergriffen werden. Eine Durchörterung der Ablagerung und Ausbau zu einer Grundwassermessstelle im darunter liegenden Grundwasser birgt eine hohe Gefahr der Schadstoffverschleppung und der Zerstörung einer u.U. vorhandenen weniger durchlässigen Basislage. Daher sollten Messstellen durch den Deponiekörper nur in Ausnahmefällen und unter besonderen technischen Vorkehrungen (z.B. teleskopierte Bohrung) errichtet werden.

Deponieerkundung

Sind mehrere Grundwasserstockwerke vorhanden, ist zunächst das oberflächennahe Grundwasserstockwerk durch Messstellen zu erfassen, da dieses in der Regel am deutlichsten beeinflusst ist. Die Qualität des trennenden Grundwassernichtleiters hinsichtlich seiner hydraulischen Barrierewirkung ist zu prüfen. Bestehen Zweifel an der Barrierewirkung, so sollte im Abstrombereich vermuteter Leckagestellen eine auch den unteren Grundwasserleiter erfassende Messstelle errichtet werden (Doppelmessstelle bzw. zwei getrennte Messstellen). Wesentliche Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis der Grundwasserfließrichtung in den einzelnen Grundwasserleitern. Aufgrund der unsicheren Lage der Leckagestelle(n) sind für diese Messstellen ggf. größere als die o.g. Abstände zu wählen, um eine Beeinträchtigung noch sicher erfassen zu können. Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung der Beeinflussung des unteren Grundwasserstockwerkes besteht in der Ermittlung des Grundwasseralters (s. Kap. 7.3). Da die Untersuchungen des tieferen Grundwasserleiters meist sehr teuer sind, sollten sie erst im Rahmen vertiefender Untersuchungen durchgeführt werden. In Abbildung 5 ist für einfache hydraulische Verhältnisse schematisch die Lage von Grundwassermessstellen beim Vorliegen mehrerer Grundwasserstockwerke dargestellt.

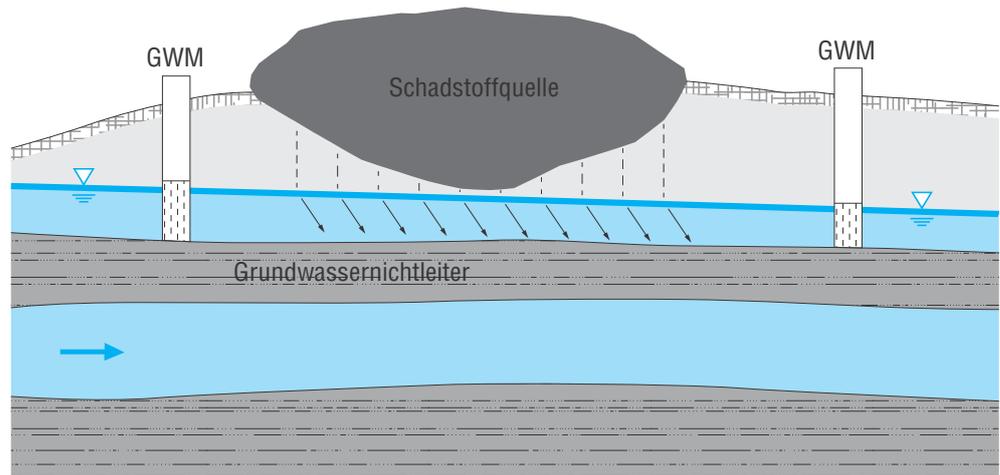
Mehrere Grundwasserstockwerke

Verdichtung des Messstellennetzes

Eine Verdichtung des Messstellennetzes ist in der Regel erst bei einer vertiefenden Untersuchung vorzusehen. Die Verdichtung kann dienen zur:

- detaillierten Erfassung der räumlichen Ausdehnung der Kontaminationsfahne (Konzentrationsermittlung) bzw. einer Abgrenzung von beeinflussten und unbeeinflussten Grundwasserbereichen,
- Bewertung von Schadstoffeintrag und -transport.

Durchgehender Grundwassernichtleiter



Grundwassernichtleiter mit hydraulischem Fenster

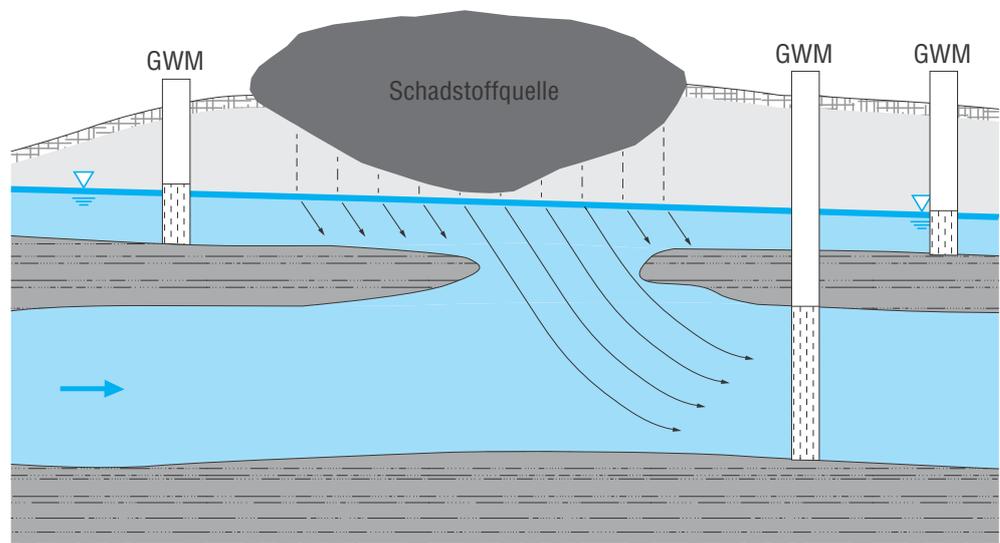


Abb. 5
Lage von Grundwassermessstellen bei mehreren Grundwasserstockwerken im Lockergestein

Sind die Informationen über den Untergrundaufbau und die hydraulische Situation zu Beginn der technischen Erkundung unzureichend, sollte der Messstellenbau erst nach der Durchführung von Sondierbohrungen erfolgen. Die Sondierbohrungen können nachträglich auch zu sogenannten Grundwasserkleinmessstellen (Kap. 3.3.1) ausgebaut und zur Messung von Grundwasserständen sowie zur orientierenden Grundwasserprobennahme verwendet werden (Kap. 3.4). Auf der Grundlage der dann vorliegenden zusätzlichen Informationen erfolgt die Anordnung der eigentlichen „Grundwasserbeschaffenheits“-Messstellen. Diesbezüglich sind in jedem Fall auch die Ergebnisse aus der Boden- und Bodenlufterkundung mit zu berücksichtigen. Aus diesem Grunde kann es sinnvoll sein, die Untersuchung dieser Umweltkompartimente zeitlich gegenüber der Grundwassererkundung vorzuziehen.

**Sondierbohrungen
(Kleinbohrungen
nach DIN EN ISO
22475-1)**

Befinden sich im Bereich oder in der näheren Umgebung der Verdachtsfläche oberirdische Gewässer, für die eine Verunreinigung nicht ausgeschlossen werden kann, sind die Gewässer und ggf. auch die Sedimente mit in die Erkundung einzubeziehen. Hierbei sind der ökologische Zustand und die Hintergrundbelastung des oberirdischen Gewässers in Bezug auf Kontaminanten, Konzentrationen und Frachten zu berücksichtigen. Bei Fließgewässern sollten zumindest oberstromig und unterstromig der Schadstoff-Eintragsstelle Wasserproben entnommen werden. Untersucht werden sollte zunächst die unterstromige Probe. Sofern eine Schadstoffbelastung festgestellt wird, ist auch die oberstromige Probe zu analysieren. Bei stehenden Gewässern sollten an der Stelle des vermuteten oder durch eine Veränderung der Beschaffenheit (z.B. Färbung, Trübung, aufschwimmende Schicht, ökologischer Zustand) erkennbaren Schadstoffeintrags und zu Vergleichszwecken an einer davon entfernten unbeeinflussten Stelle Wasserproben genommen werden. Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob im Rahmen der erstmaligen Untersuchung das Gewässersediment (Kap. 3.4.4) zu beproben ist.

**oberirdische
Gewässer**

Fließgewässer

3.2.3 Untersuchungsumfang

Die chemisch-physikalische Analytik ist Teil der technischen Erkundung der Verdachtsfläche. Die Auswahl der Analysenparameter erfolgt bei der erstmaligen Untersuchung auf Basis der Historischen Erkundung. Erst in nachfolgenden Untersuchungsphasen mit weitergehender Zielsetzung ist die Liste der Analysenparameter aufgrund der dann vorliegenden Ergebnisse zu erweitern bzw. anzupassen. Bei der Aufstellung der Liste ergeben sich, je nachdem wie konkret die Hinweise auf bestimmte Schadstoffe im Gefahrenherd sind, zwei unterschiedliche Vorgehensweisen:

Analysenparameter

- Liegen aus der Historischen Erkundung, der Erfassung oder anderen Informationsquellen konkrete Hinweise über die frühere Nutzung des Geländes vor, können bei Kenntnis der entsprechenden Produktionsprozesse die Parameter für das Analysenprogramm definiert werden. Dies ist bei Altstandorten häufig der Fall. Der Untersuchungsumfang richtet sich also nach den jeweils eingesetzten und hergestellten branchenspezifischen umweltrelevanten Stoffen und Stoffgruppen. Im Vergleich zu Altablagerungen ist das Schadstoffspektrum und mithin auch der Untersuchungsumfang bei Altstandorten meist kleiner.

Altstandorte

Bei der Aufstellung des Analysenplanes (Verdachtsparameter) ist zu beachten, dass sich die Verfahrensabläufe in der Produktion sowie die Art und die chemische Zusammensetzung der Einsatzstoffe im Laufe der Zeit geändert haben können. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass durch Abbauprozesse oder Reaktionen der eingetragenen Stoffe neue Verbindungen entstehen können.

Neben den standortspezifischen Verdachtsparametern sind in der Regel auch die in Tabelle 2 (Kap. 3.6) dargestellten Grundparameter zu bestimmen. Die Grundparameter dienen zur qualitativen Charakterisierung des Grundwasserleiters, als Indikator für chemische Veränderungen (Aufsalzung), als Indiz für biologische Aktivität und zur Qualitätssicherung (Ionenbilanz).

Altablagerungen

- Ist ein Gefahrenherd dagegen stofflich nicht genau zu definieren oder muss von einem breiten Schadstoffspektrum ausgegangen werden, ist ein umfassendes Analysenprogramm anzuwenden. Dies ist oft bei Altablagerungen der Fall, wo eine Mischung aus unterschiedlichen Anteilen von Erdaushub, Bauschutt, Hausmüll, Industriemüll und auch Sondermüll vorliegen kann. Der Parametersatz hierfür ist in Tabelle 3 (Kap. 3.6) dargestellt.

oberirdische Gewässer

Bei der Untersuchung von oberirdischen Gewässern ist entsprechend der Situation der Verdachtsfläche der umfassende Parametersatz gemäß Tabelle 3 oder der um Verdachtsparameter erweiterte Grundparametersatz gemäß Tabelle 2 anzuwenden. Das Analysenprogramm für Sedimentproben aus oberirdischen Gewässern sollte auf die Analysenparameter des Grundwassers und des oberirdischen Gewässers sowie des Bodens abgestimmt sein (Kap. 4.7).

Feldparameter

Bei allen Probennahmen sind auch die Feldparameter (Kap. 3.4.2) zu bestimmen. Insbesondere bei der Beurteilung des biochemischen Milieus ist der korrekten Bestimmung der Redoxspannung sowie des Sauerstoffgehaltes große Bedeutung beizumessen. Weitere detaillierte Informationen zu den chemischen Analysen finden sich in Kapitel 3.6.

Überwachungsintervall

Wiederholungen von Grundwasserbeprobungen können aus mehreren Gründen erforderlich werden:

- Bestehen aufgrund der Ergebnisse aus der erstmaligen Untersuchung Zweifel an einer Beeinträchtigung des Grundwassers, ist wegen der zeitlichen Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit im Abstand von ca. 6 Monaten eine zweite Beprobung der Grundwassermessstellen durchzuführen.
- Zur langfristigen Überwachung der Ausbreitung der Kontamination können wiederholte Messungen erforderlich werden. Die Überwachungsintervalle (Zeiträume zwischen zwei Überwachungsvorgängen) hängen u.a. von der Grundwasserfließgeschwindigkeit ab. Üblich ist bei $v_{\text{GW}} = 0,5\text{--}5 \text{ m/d}$ eine zweimalige Beprobung im Jahr jeweils bei Grundwasserhoch- und -niedrigstand (HLUG 2005a).
- Kürzere Überwachungsintervalle können insbesondere erforderlich werden bei
 - $v_{\text{GW}} > 5 \text{ m/d}$
 - großen Grundwasserschwankungen
 - Kluft- und Karstgrundwasserleitern
 - Standorten in Wasserschutzgebieten
 Längere Überwachungsintervalle sind angebracht, wenn keine rasche Änderung der Gefährdungssituation zu erwarten ist.
- Liegt das untersuchte Gelände in der Nähe eines mittleren oder größeren Fließgewässers, ist wegen der zu erwartenden wechselnden Grundwasserstände die Beprobung mindestens bei Hoch- und Niedrigwasser erforderlich.
- Überwachungen nach erfolgten Sanierungen werden meist im Abstand von ca. drei Monaten durchgeführt, um den Sanierungserfolg beurteilen zu können.

Bei oberirdischen Gewässern ist analog zu verfahren.

3.3 Messstellen

3.3.1 Grundwassermessstellen

Die Grundwasserbeschaffenheits-Messstellen dienen der ausführlichen Erkundung eines Grundwasserleiters (Grundwasserprobennahme, Messung des Grundwasserspiegels, Tracerversuche). Darüber hinaus sind sie geeignet zur Feststellung von leichteren und schwereren Schadstoffphasen. Bei großen Filterdurchmessern (≥ 125 mm) und entsprechend hoher Ergiebigkeit des Grundwasserleiters ist auch die Durchführung von Pumpversuchen mit verschiedenen hohen Förderraten möglich. Abbildung 6 zeigt exemplarisch den Aufbau einer Grundwasserbeschaffenheits-Messstelle. Die Bohrungen sollen mit Brunnenrohren (Filterrohre und vollwandige Rohre, Durchmesser 100–150 mm) ausgebaut werden. Der Bohrdurchmesser sollte den Durchmesser der Verrohrung um 160 mm überschreiten (DVGW 115, DVGW 116). Für den

Grundwasserbeschaffenheits-Messstelle

Durchmesser der Messstelle

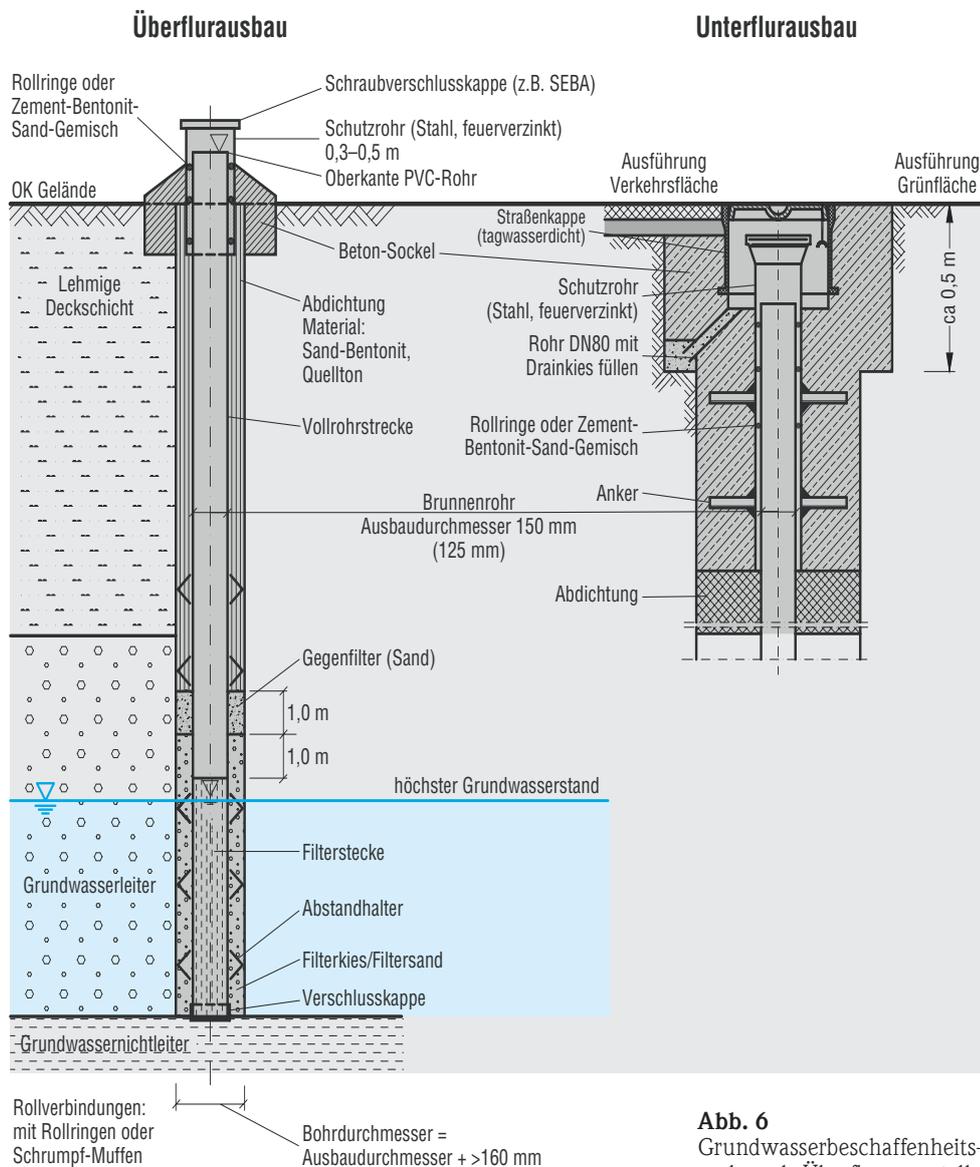


Abb. 6 Grundwasserbeschaffenheits-Messstelle (links: Standardausbau als Überflurmessstelle, rechts: Messstellenkopf einer Grundwasserbeschaffenheits-Messstelle bei Unterflurausbau)

Grundwassermessstellenbau sind die technischen Anforderungen des DVGW-Merkblattes W 121 (DVGW 121) zu beachten.

In Gebieten mit ungünstigen hydrogeologischen Verhältnissen und damit verbunden geringen Ergiebigkeiten wie z.B. in Tonsteinen des Rheinischen Schiefergebirges kann auch ein Rohrdurchmesser <100 mm sinnvoll sein (DVWK 128, TOUSSAINT 1994). Um einen ordnungsgemäßen Einbau von Filterkies und Tonabdichtung im Ringraum zu ermöglichen, sollte der Bohrdurchmesser auch in diesen Fällen den Durchmesser der Verrohrung um 160 mm überschreiten (DVGW 121). Sehr wichtig ist die Abdichtung der Filterstrecke zur Oberfläche hin, um eine Beeinflussung der Messergebnisse durch Oberflächenwasser, Niederschlagswasser usw. zu vermeiden

Verfilterung der Messstelle

Die Lage und Länge der Filterrohrstrecke ist an die jeweiligen Erkundungsziele anzupassen und hängt u.a. von folgenden Faktoren ab:

- Mächtigkeit des Grundwasserkörpers
- Geologischer Aufbau und Heterogenität des Grundwasserleiters
- Grundwasserstockwerk
- erstmalige Untersuchung oder vertiefte Untersuchung
- Art der Schadstoffe
- Entfernung der Grundwassermessstelle vom Schadensherd
- Gradient der Grundwasserströmung.

Bei der erstmaligen Erkundung von Schadstoffen im obersten Grundwasserleiter ist in der Regel eine Verfilterung der Messstelle nur im oberen Bereich des Grundwasserkörpers angebracht. Das obere Ende der Filterrohrstrecke soll mindestens bis zum Niveau des höchsten gemessenen Grundwasserstandes reichen (Abbildung 5). Damit ist gewährleistet, dass eventuell auf dem Grundwasser aufschwimmende Schadstoffphasen vollständig erfasst werden. Das untere Ende der Filterrohrstrecke sollte, in Abhängigkeit von der Mächtigkeit des Grundwasserleiters, bis maximal 5 m unterhalb des Grundwassertiefstandes reichen.

tiefenorientierte Beprobung

Bei vertiefenden Erkundungen ist meist eine tiefenorientierte Beprobung des Grundwasserkörpers sinnvoll, um die vertikale Schadstoffverteilung im Grundwasserkörper ermitteln zu können (DVWK 245, DEHNERT 2001). Hierzu sollte die Filterrohrstrecke eher kurz gewählt werden, insbesondere wenn im Grundwasserleiter heterogene hydrogeologische Verhältnisse vorliegen. Bei Grundwassermessstellen mit längeren Filterstrecken treten häufig vertikale Kurzschlussströmungen auf, so dass keine Zuordnung des geförderten Grundwassers zu einem Tiefenbereich im Grundwasserkörper möglich ist.

Bei der vertiefenden Erkundung von Grundwasserkörpern sind aus den genannten Gründen mehrere Grundwassermessstellen sinnvoll, die in unterschiedlicher Tiefe verfiltert sind.

vollkommene Brunnen

Vollkommene Brunnen, bei denen die Filterrohrstrecke von der Grundwasser-sole bis über das Niveau des höchsten Grundwasserstandes reicht, sind nur in Sonderfällen sinnvoll, z.B. wenn nur geringmächtige Grundwasserkörper vorliegen oder wenn im Rahmen einer allgemeinen Grundwasserbeobachtung in einem homogenen Grundwasserleiter mittlere, tiefenintegrierte Konzentrationen von Grundwasserinhaltsstoffen ermittelt werden sollen. Die tiefenorientierte Beprobung ist bei vollkommenen Brunnen nicht oder nur unter sehr hohem Aufwand möglich (DVWK 245).

Sollen schwere Schadstoffphasen (DNAPL) erfasst werden, muss das untere Ende der Filterstrecke bis unterhalb der Oberkante des Grundwasserstauers reichen. Die Verschlusskappe am Ende der Filterstrecke soll, um Verfälschungen von Analyseergebnissen zu vermeiden, aus dem gleichen Material bestehen wie das Filterrohr.

Entgegen der Empfehlung der DIN 4021 ist kein Sumpfrohr vorzusehen, da sich dort nachträglich Phasenkörper, Fällungsprodukte, Kolloide oder Biomasse selektiv ansammeln können. Bei der Probennahme kann dies zu einer Beeinträchtigung der Wasserprobe und mithin zu einer Verfälschung der Analyseergebnisse führen.

Als Material für Vollwand- und Filterrohre sowie Abstandshalter hat sich PVC-hart bzw. HDPE bewährt. Bei sehr hoch belasteten und aggressiven Wässern, insbesondere bei organischen Substanzen wie LCKW oder aromatischen Kohlenwasserstoffen, kommt es zu Wechselwirkungen mit dem PVC-Material und mithin zu einer Abweichung der Analyseergebnisse von den wahren Konzentrationen. In solchen Fällen ist anstelle von PVC-hart entweder Edelstahl oder HDPE zu verwenden.

Es ist darauf zu achten, dass die Bohrung lotrecht niedergebracht wird und dass einige Abstandshalter zur Zentrierung der Verrohrung benutzt werden. Besonders bei tieferen Brunnen (> 15 m) kann das Abweichen von der Lotrechten zu Schwierigkeiten beim Einbau einer Unterwasserpumpe führen, möglicherweise auch zu einer Beschädigung des Filterrohres beim Pumpeneinbau. Der Ringraum zwischen Bohrlochwand und Filterrohr ist mit Filterkies/-sand zu verfüllen. Die Filterkörnung ist gemäß DIN 4924 auf das anstehende Lockergestein des Grundwasserleiters abzustimmen. Das angepasste Filtermaterial soll Erosion bzw. Suffosion verhindern. Natürlicher Filterkies nach der DIN 4924 enthält oftmals Feinanteile und überwiegend unregelmäßig gerundete, plattig oder linsenartig geformte Quarzkies- und Gesteinsbruchstücke. Hinzu kommt eine Neigung zum Bruch der Quarzkörner beim Einbau in den Brunnen. Für die Brunnenbaupraxis konnte bestätigt werden, dass bei der Verwendung von Glaskugeln im Brunnenringraum sowohl mechanisch bedingte Feinkorn- und Bruchstückbildungen vermieden werden können als auch eine deutlich geringere Inkrustationsneigung zu erwarten ist.

Im Festgestein wird eine möglichst große Schlitzweite der Filterrohre benutzt und eine entsprechende Filterkieskörnung.

Zur Oberfläche hin ist die Grundwassermessstelle mit einer mindestens 1,0 m mächtigen Schicht aus stark quellendem Tonmaterial (Bentonit) abzudichten (Dichtstrecke). Bei Mehrfachmessstellen ist eine Abdichtung auch zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken vorzunehmen, um damit eine hydraulische Verbindung und einen Stoffaustausch zwischen beiden Grundwasserstockwerken auf Dauer zu verhindern. Bei Mehrfachmessstellen sind im Bereich der Dichtstrecken vollwandige Brunnenrohre vorzusehen. Die Verbindungen der einzelnen Vollroherelemente müssen insgesamt wasserdicht ausgeführt sein. Zur Abdichtung sind Dichtungselemente, z.B. O-Ringe aus chemikalienbeständigen Materialien zu verwenden. Hohe Beständigkeit weist z.B. Fluorkautschuk (FPM) auf. Die Beständigkeit gegenüber aggressiven Medien ist im Einzelfall zu prüfen.

Zwischen Abdichtungs- und Filterstrecken sollte immer ein Gegenfilter aus Sand eingebaut sein, um eine Durchmischung der Materialien zu verhindern. Die Filterstabilität muss gewährleistet sein.

kein Sumpfrohr

Rohrmaterial

Messstellenausbau

Filterkies

Abdichtung

Doppel-Grundwasser-
messsstelle

Abbildung 7 zeigt eine Doppel-Grundwassermessstelle (Bündelmessstelle), die in zwei getrennten Grundwasserleitern verfiltert ist. Im tieferen Grundwasserstockwerk können infolge des großen Filterdurchmessers (≥ 125 mm) hydraulische Versuche und Probenahmen zur Grundwasserbeschaffenheitsüberwachung durchgeführt werden, während die Messstelle DN 50 im oberen Grundwasserstockwerk hauptsächlich zur

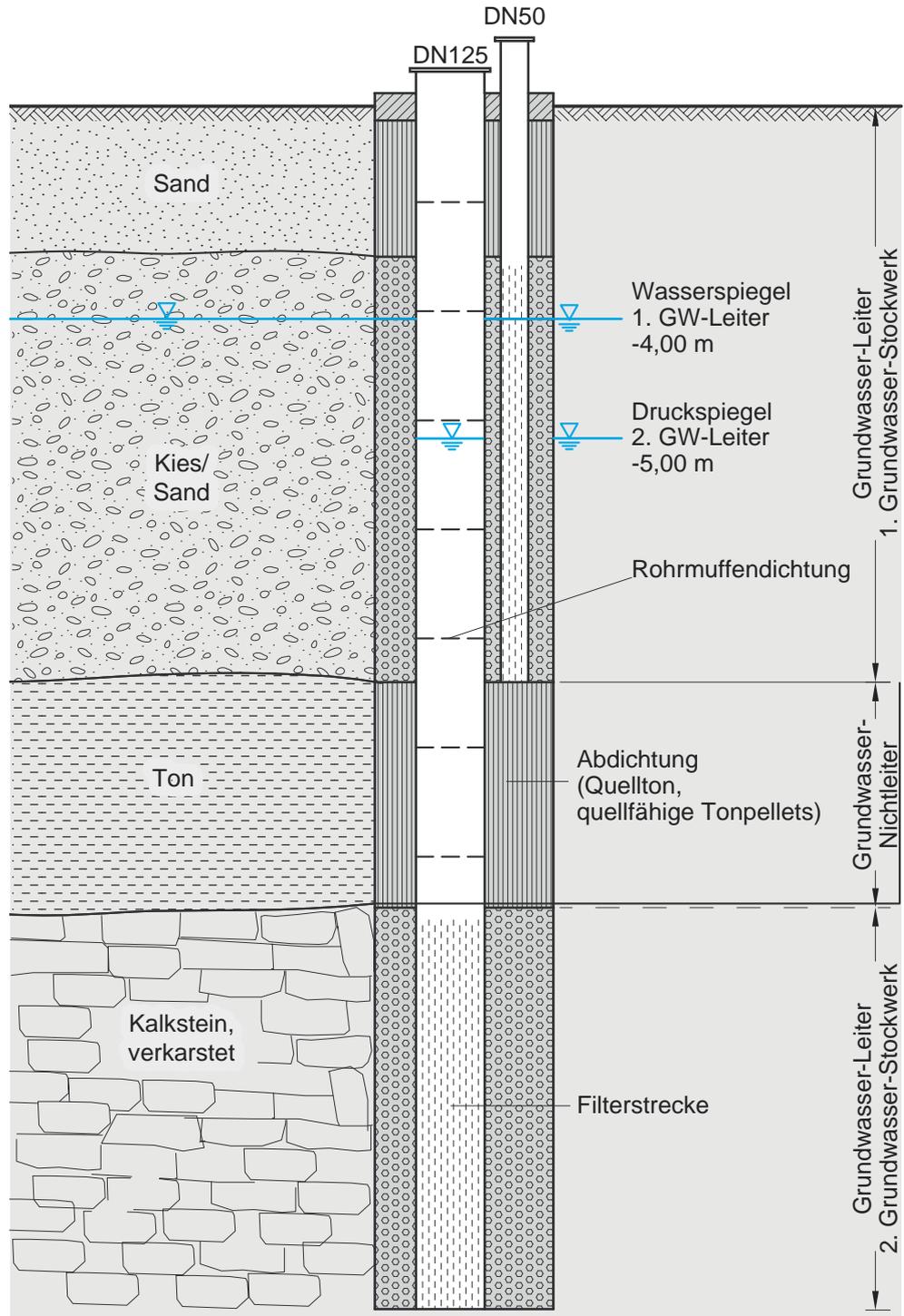


Abb. 7
Prinzip der Doppel-
Grundwassermessstelle

Beobachtung des Grundwasserspiegels, und in Sonderfällen auch zur Probennahme dient. Bei zwei Messstellen mit Durchmesser 125 mm in einer Bohrung ist die Herstellung einer wirksamen Stockwerksabdichtung bei noch wirtschaftlichem Bohrdurchmesser aus Platzgründen in der Praxis technisch anspruchsvoller und aufwändiger als bei getrennten Messstellen. Daher sollten zur Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit in getrennten Grundwasserstockwerken im Hinblick auf die größere hydraulische Sicherheit zwei getrennte in unterschiedlichen Niveaus verfilterte Messstellen mit jeweils mindestens 125 mm Ausbaudurchmesser in ausreichendem Abstand nebeneinander eingerichtet werden.

Doppelmessstellen oder zwei getrennt gebohrte und ausgebaute Grundwasserbeschaffenheits-Messstellen sind dann zweckmäßig, wenn mindestens zwei Grundwasserstockwerke hydraulisch erkundet werden sollen. Hydraulische In-situ-Versuche in solchen Messstellen geben in der Regel zuverlässige Aussagen über die hydraulischen Druckverhältnisse zwischen erstem und zweitem Grundwasserleiter im Umkreis der Messstelle(n).

Nach Fertigstellung der Doppelmessstelle sollte durch einen Pumpversuch überprüft werden, ob ein hydraulischer Kurzschluss zwischen beiden Grundwasserleitern vorhanden ist.

Mit Hilfe von mehrfach verfilterten sog. Multilevel-Messstellen ist eine tiefendifferenzierte Grundwasserbeprobung möglich. Bei dieser Art von Messstellen handelt es sich um mehrere kurze, in einem Bohrloch in verschiedenen Tiefen (level) übereinander angeordnete Filterstücke, die jeweils durch Dichtstrecken getrennt sind. Wasserproben können mit Hilfe von synchron betriebenen Pumpen aus verschiedenen Tiefen entnommen werden. Der Einsatz dieser anspruchsvollen Messstellen im Rahmen von erstmals durchgeführten Untersuchungen wird in der Praxis eher die Ausnahme bleiben.

Multilevel-Messstelle

Grundwasserkleinmessstellen werden bei geringem Grundwasserflurabstand meist durch ein bereits vorgebohrtes Sondierloch (Rammkernsondierung) in den Grundwasserleiter gerammt. Der zusätzliche Einbau einer Filterkiespackung entfällt dabei. Liegt der Grundwasserspiegel tiefer als 6 m u. GOK, sollte mit einem Bohrdurchmesser > 100 mm vorgebohrt werden. Der Ringraum wird dann wie beim Ausbau einer großkalibrigen Grundwassermessstelle mit Filterkies und quellfähigem Tonmaterial verfüllt. Der Durchmesser der Filter- und Vollwandrohre beträgt üblicherweise 2 Zoll (ca. 50 mm). Abbildung 8 zeigt eine Grundwasserkleinmessstelle mit Unter- und Überflurausbau.

Grundwasserkleinmessstelle

Grundwasserkleinmessstellen sind in ihrer Anwendung zur Grundwasserbeschaffenheitsüberwachung nur beschränkt einsetzbar. Sie dienen hauptsächlich zur Messung des Grundwasserspiegels. Sie können darüber hinaus sinnvoll bei der Vorerkundung zur Anordnung der Grundwasserbeschaffenheits-Messstellen sowie z.B. bei Pumpversuchen als Beobachtungsrohr eingesetzt werden. Die Verwendung solcher Kleinmessstellen zur Entnahme von Grundwasserproben ist möglich, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Ausbau mit geeignetem Material (PVC oder HDPE, bei organischer Schadstoffbelastung auch Edelstahl/Messing),
- Ausbau im Bereich gut durchlässiger filterstabiler Lockergesteine (Sand, Kies),
- Klarpumpen und Probennahme mittels einer leistungsfähigen Pumpe möglich.

Bei der Erkundung organischer Schadstoffbelastungen ist auch die Verwendung von verzinkten Stahlrohren mit Messing- oder Edelstahlgeflecht als Filterstrecke möglich. Der Vorteil von Stahlrammfiltern besteht in der größeren mechanischen Stabilität, die größere Ausbautiefen ermöglicht als beim Einsatz von PVC bzw. HDPE.

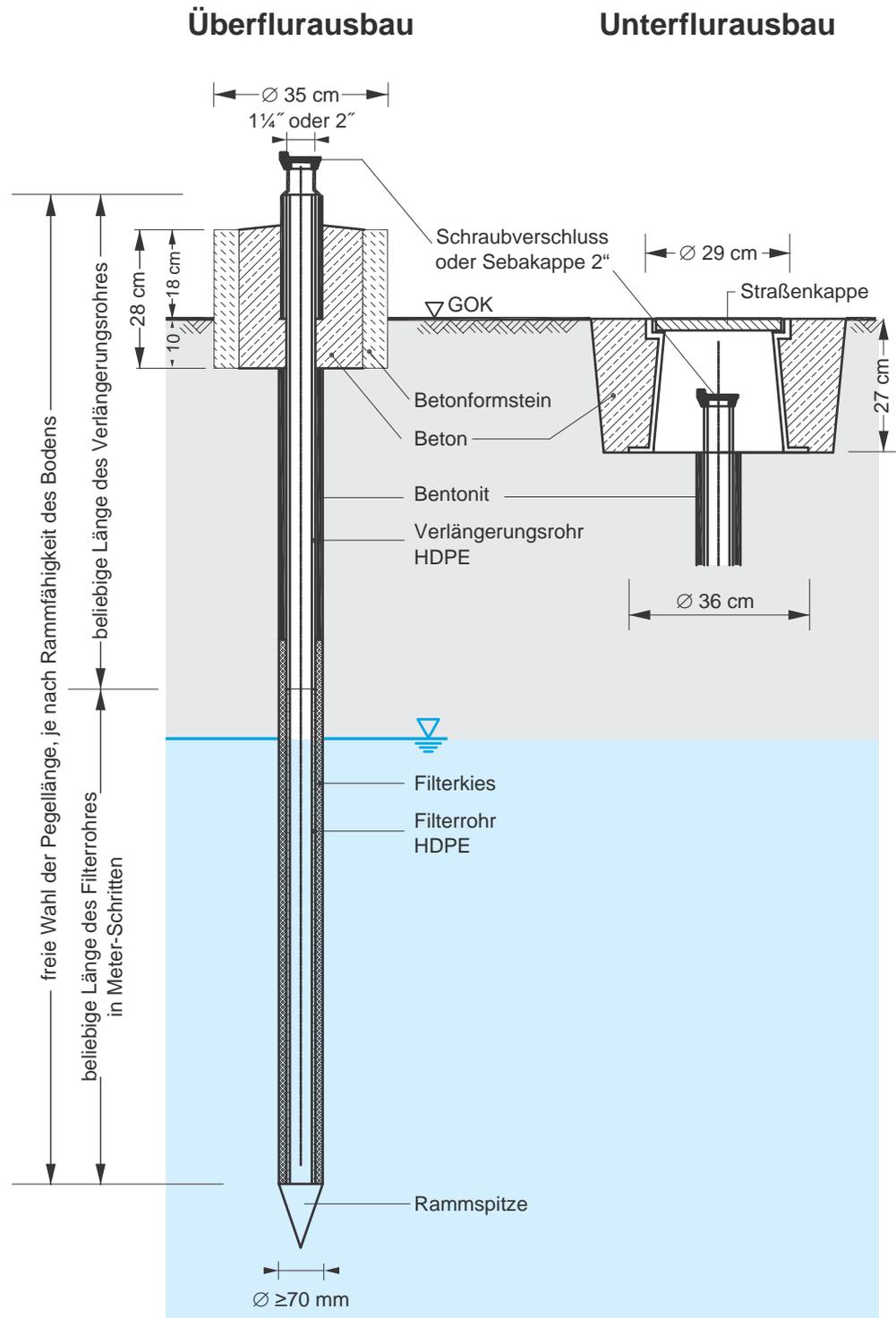


Abb. 8
Grundwasserkleinmess-
stelle mit Über- und Unter-
flurausbau

Es sollten soweit möglich Kleintauchpumpen eingesetzt werden. Mittlerweile stehen relativ leistungsfähige 2 Zoll-Kleintauchpumpen zur Verfügung (Tabelle 1, Kap. 3.4.2).

Zur Messung und Beprobung im hoch kontaminierten Bereich werden Rammfilter eingesetzt, die mit einem Schutzrohr vorgetrieben werden. In der Endteufe wird das Schutzrohr zur Freigabe der Filterstrecke etwa 1 m hochgezogen, bleibt aber im Untergrund stehen

Bohrungen für Grundwassermessstellen sind nach Abschluss der Bohrarbeiten und ggf. nach Durchführung von Bohrlochtests sofort auszubauen.

Nach dem Ausbau und Klarpumpen (Kap. 3.3.4) ist die Grundwassermessstelle nach Lage und Höhe einzumessen. Bezugshöhe ist die **Oberkante der geöffneten Abschlusskappe**. Die Vorgehensweise ist zu dokumentieren und der zuständigen Behörde vorzulegen.

Die Errichtung von Grundwassermessstellen wird von der für die Untersuchung zuständigen Behörde (Untere Wasserbehörde, Regierungspräsidium) genehmigt.

Für alle Messstellen gilt, dass bei Vorhandensein einer leichten Phase der Einsatz von Tauchpumpen zu einer Verschleppung von Schadstoffen führen kann. Hier kann ggf. ein Einsatz von Saugpumpen vorteilhaft sein. Dies ist gegenüber den Nachteilen, die mit dem Einsatz von Saugpumpen verbunden sind, von Fall zu Fall abzuwägen.

In der Regel sollten jedoch zur Erkundung der Grundwasserbeschaffenheit wegen der größeren Betriebssicherheit und der Möglichkeit zum Einsatz von Standardtauchpumpen Messstellen mit einem Durchmesser von mindestens 100 mm gebaut werden.

Grundwassermessstellen sind grundsätzlich zurückzubauen, sofern sie fachlich bzw. im Rahmen des Landesgrundwassermessdienstes nicht mehr erforderlich sind (DVGW 135).

„Münchehagen-Sonde“

Einmessung

Genehmigung

Verschleppungs-
gefahr bei
Leichtphasen

Rückbau von
Messstellen

3.3.2 Fassung von Quellen und Deponiesickerwasser

Quellen sind Orte eines eng begrenzten Grundwasseraustrittes (DIN 4049). Das Grundwasser tritt nach unterschiedlich langer Verweildauer im Untergrund zutage und fließt oberirdisch ab. Entsprechend der unterschiedlichen hydraulischen und hydrogeologischen Gegebenheiten, die zu einem Grundwasseraustritt führen, unterscheidet man verschiedene Quelltypen (HÖLTING 1995).

Bei Wasseraustritten im Bereich des Böschungsfußes einer Altablagerung oder Oberflächendeponie handelt es sich in der Regel um in den Ablagerungskörper versickertes Niederschlagswasser, sog. Deponiesickerwasser. Dieses kann sich im Bereich von undurchlässigeren Zonen innerhalb der Ablagerung oder an der Deponiebasis sammeln, lateral austreten oder dem Grundwasser zusickern. Deponiesickerwässer können hochkontaminiert sein.

Über einen Schurf oder Sammelschächte müssen Quellen und Deponiesickerwasseraustritte zur Ermöglichung der Probennahme erforderlichenfalls gefasst werden. Werden die Arbeiten im Bereich der Verdachtsfläche oder unmittelbar im Bereich des Schadstoffherdes (z.B. Halde) durchgeführt, sind entsprechende Arbeitsschutzvorkehrungen zu treffen.

Quellen

Deponiesickerwasser

3.3.3 Messungen der Grundwasserstände und Pegelmessungen

Wasserstandsmessungen erfassen den Höhenunterschied zwischen einer Bezugsebene (höhenmäßig bekannter Ansatzpunkt, meist bezogen auf Normal-Null) und einem Wasserspiegel. Dabei kann es sich um den Grundwasserspiegel (freie Grundwasseroberfläche oder Grundwasserdruckfläche) oder um den Wasserspiegel von oberirdischen Gewässern handeln.

Pegelstände

Zur Messung von Pegelständen in oberirdischen Gewässern dienen geeichte Messstangen oder Messlatten, die höhenmäßig einzumessen sind. Aufwändiger sind mechanische oder elektronische Schreibpegel, mit denen Wasserstände kontinuierlich aufgezeichnet werden können. Gebräuchlich sind Schwimmerschreibpegel sowie Pegel mit elektrischen Druckaufnehmern.

Messung der Grundwasserstände

Die Messung des Grundwasserspiegels bzw. des Grundwasserstandes in einer Grundwassermessstelle kann mit folgenden Geräten erfolgen:

- Geräte für Einzelmessungen:
 - Kabellicht- oder Kabelakustiklote (Messgenauigkeit $\pm 0,5$ cm)
 - Messlatte (Messgenauigkeit ± 1 cm)
 - Elektrooptische 2-Phasen-Messgeräte (Messgenauigkeit $\pm 0,5$ cm)
 - Brunnenpeife (Messgenauigkeit ± 1 cm)
 - Tiefenlot (Messgenauigkeit ± 1 cm)
- Geräte für kontinuierliche Messungen des Grundwasserspiegels:
 - Schwimmer (Messgenauigkeit $\pm 1-10$ cm, abhängig vom Messbereich)
 - Druckmessdose, Druckmesssonde (Messgenauigkeit $\pm 0,1$ % des Messbereichs).

Zur Darstellung der Messergebnisse verwendet man selbstanzeigende und/oder registrierende Geräte, z.B. Datalogger. Die gespeicherten Daten können anschließend mit EDV-Programmen ausgelesen und am PC ausgewertet werden. Im Rahmen der Untersuchung ist der Einsatz von kontinuierlich arbeitenden Messgeräten meist nicht erforderlich. Geräte für Einzelmessungen können in jeder Grundwassermessstelle mit einem Ausbaudurchmesser von mindestens 2 Zoll eingesetzt werden.

Kabellichtlote

Die Messvorgänge können insbesondere mit dem Kabellichtlot in der Regel schnell, einfach und mit einer ausreichenden Messgenauigkeit durchgeführt werden. Da Kabellichtlote zum Funktionieren leitfähiges Grundwasser benötigen, können bei elektrolytarmen Grundwässern Schwierigkeiten auftreten. Funktionsstörungen können auch bei Vorhandensein einer aufschwimmenden, elektrisch nicht oder nur gering leitfähigen Schadstoff-Phase (z.B. Ölfilm) auftreten. Es kommt in diesen Fällen häufig auch zu einer Verschmutzung der Elektroden. Die Messinghülse mit den Elektroden ist dann nach jedem Einsatz zu reinigen. Bevorzugt ist in diesen Fällen jedoch ein anderes, geeigneteres Messverfahren (z.B. 2-Phasen-Messgerät) zu wählen.

3.3.4 Bohrverfahren

Zur Errichtung von Grundwasser-Messstellen sind Bohrungen niederzubringen. Diese können auch der Erkundung des Untergrundaufbaus und der Gewinnung von Bodenproben dienen (vgl. Kap. 4). Generell wird zwischen Trocken- und Spülbohrverfahren unterschieden (DVGW 115).

Bei den Spülbohrverfahren wird zum Transport des Bohrkleins (Druck- oder Saugförderung) ein Spülmedium (Wasser und/oder Luft) benutzt. Besteht die Spülung aus Wasser (mit oder ohne Zusätzen wie z.B. Tonmehl) trägt sie zur Erhöhung der Bohrlochstabilität bei. Spülbohrungen arbeiten daher in der Regel bis in den obersten Bereich der Bohrlochstrecke ohne Verrohrung. Bei den Trockenbohrverfahren wird kein Spülmedium zum Transport des abgelösten Bohrgutes verwendet, unabhängig davon, ob ober- oder unterhalb des Grundwasserspiegels gebohrt wird.

In DIN EN ISO 22475-1 sind u.a. folgende Bohrverfahren aufgeführt:

Rotationsbohrverfahren (drehende Bohrverfahren)

- ohne Spülung
 - Rotations-Trockenkernbohrung (Einfachkernrohr, Hohlbohrschnecke)
 - Handdrehbohrverfahren (Schappe, Schnecke, Spirale)
- mit Spülung
 - Rotationskernbohrung (Einfachkernrohr, Doppelkernrohr, Doppelkernrohr mit zusätzlichem Kunststoffinnenrohr/Liner)
 - Rotationspülbohrung mit Umkehrspülung

Rammende, schlagende, vibrierende Bohrverfahren

- ohne Spülung
 - Rammkernbohrung (Hammer)
 - Kleinrammverfahren, Rammkernsondierung
 - Kleindruckbohrverfahren
 - Schlagbohrverfahren
 - Vibrationsverfahren
- mit Spülung
 - Rammrotationskernbohrung (Einfach-/Doppelkernrohr)

Bei Erkundungen werden häufig Kleinrammbohrungen (Rammkernsondierungen) angewendet. Dabei handelt es sich um rammende oder drückende Bohrverfahren ohne Spülung (DIN EN ISO 22475-1). Der Bohrdurchmesser beträgt bei modernen hydraulischen Geräten maximal ca. 100 mm. Größter Bohrdurchmesser und Bohrtiefe sind abhängig u.a. von der Art des Untergrundes. Sondierbohrverfahren sind im Lockergestein und eingeschränkt im verwitterten Fels möglich. Die Sondierbohrungen können als Kleinmessstellen ausgebaut werden.

Eine Gliederung der Bohrverfahren nach der Art und Güte der gewinnbaren Proben ist in der DIN EN ISO 22475-1 enthalten. Diese enthält auch Angaben über die für die einzelnen Bohrverfahren gebräuchlichen Bohrdurchmesser.

Das zu wählende Bohrverfahren hängt generell ab von der Härte der Gesteine bzw. von der Bodenart (Locker- oder Festgestein), der Lagerung, der Bohrtiefe, dem Bohrdurchmesser, dem Grundwasserflurabstand sowie von der gewünschten Qualität der Bohrproben. Da beim Niederbringen von Bohrungen im Bereich von Verdachtsflächen einerseits eine Schadstoffverschleppung, andererseits die Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit durch das Bohrverfahren so gering wie möglich zu halten sind, sollten Trockenbohrverfahren zum Einsatz kommen. Ist dies nicht möglich, ist das Bohrverfahren im Vorfeld mit den Fachbehörden abzustimmen.

Für den Messstellenbau im Lockergestein sind prinzipiell die nachfolgend genannten Trockenbohrverfahren geeignet (in Anlehnung an DIN EN ISO 22475-1 und ITVA 1995):

[Spülbohrverfahren](#)

[Trockenbohrverfahren](#)

[Rotationsbohrung](#)

[weitere Bohrverfahren](#)

[Rammkernsondierung](#)

[Auswahl der Bohrverfahren](#)

- Rammkernbohrungen: geeignet für bindige und nicht zu grobkörnige rollige¹ Böden; Bohrdurchmesser: 80 mm bis 300 mm.
- Rotationsbohrungen: geeignet für bindige und sandige Böden, ungeeignet für rollige Bodenarten im Grundwasserbereich sowie für zu feste Böden; Bohrdurchmesser: 65 mm bis 200 mm (Rotationskernbohrungen) bzw. 100 mm bis 2000 mm (Schneckenbohrungen).
- Greiferbohrungen: geeignet für rollige Bodenarten; Bohrdurchmesser: 400 mm bis 2500 mm.
- Schlagbohrungen: Ventilbohrer, Kiespumpe: geeignet für rollige Bodenarten unter der Grundwasseroberfläche; Bohrdurchmesser: 75 mm bis 500 mm.
- Schlagschappe: geeignet für bindige Bodenarten auch im Grundwasserbereich; Bohrdurchmesser: 150 mm bis 400 mm.
- Schlauchkernbohrung: geeignet für bindige und rollige Böden auch unter der Grundwasseroberfläche; Bohrdurchmesser: 80 mm bis 200 mm.

Spülungszusätze

Wenn aus bohrtechnischen Gründen auf Bohrhilfsmittel nicht verzichtet werden kann, wie z.B. im Festgestein, sollen als Spülmedium möglichst nur Druckluft oder klares Wasser mit Trinkwasserqualität verwendet werden. Spülungszusätze dürfen nur in Ausnahmefällen und erst nach vorheriger Prüfung durch den Gutachter verwendet werden. Im Ton muss häufig ein geringer Spülungszusatz erfolgen. Die Verwendung von Spülmedien und Spülungszusätzen muss im Protokoll vermerkt werden. In keinem Fall sind Cellulosederivate (z.B. Carboxymethylcellulose) zu verwenden, da es durch einen mikrobiellen Abbau dieses Spülungszusatzes zu einer Veränderung des hydrochemischen Milieus kommt.

Hilfsverrohrung

Um stärkeren Nachfall oder ein Einstürzen des Bohrloches zu verhindern, ist ggf. über die gesamte Bohrlochtiefe eine Hilfsverrohrung zu verwenden. Die Hilfsverrohrung ist im Zuge des Ausbaus der Messstelle wieder zu ziehen. Eine Stabilisierung des Bohrloches wird auch durch den hydraulischen Druck der Spülungssäule erreicht. Zur Stabilisierung der oberen Bohrlochstrecke muss bei nicht-bindigen Böden ein Standrohr gesetzt werden.

Klarpumpen

Nach der Fertigstellung der Messstelle erfolgt das sogenannte Klarpumpen. Dieses kann je nach Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und angewandtem Bohrverfahren wenige Stunden bis zu mehrere Tage in Anspruch nehmen. Im Vorfeld ist zu klären, ob das geförderte Grundwasser abgeleitet werden kann oder aufgefangen werden muss. Das Klarpumpen ist beendet, wenn durch Messung der Feldparameter nachgewiesen wurde, dass sich die Beschaffenheit des geförderten Wassers nicht mehr ändert. Das Klarpumpen dient auch zur restlosen Wiederentfernung der verwendeten Spülungszusätze aus dem Ringraum und dem angrenzenden Grundwasserkörper. Über das Klarpumpen ist ein detailliertes Pumpprotokoll anzufertigen. Absenkung und Wiederanstieg des Grundwasserspiegels über die Zeit sind als Funktion des geförderten Volumenstroms darzustellen. Die Auswertung von Absenkung und Wiederanstieg können erste Hinweise auf hydraulische Eigenschaften des Grundwasserleiters geben. Hinweise zur Ausführung von Pumpversuchen werden u.a. im DVGW-Arbeitsblatt W111 (DVGW 111) gegeben.

¹ Rollige Böden enthalten weniger als 5 % Feinkorn (Korndurchmesser < 63 µm)

Sämtliche Daten, die bei der Errichtung der Grundwassermessstellen gewonnen werden, sind zu protokollieren. Hierzu gehören zumindest:

- Geologische Schichtenfolge und Grundwasserstand,
- Art des Bohrverfahrens, Verwendung von Bohrhilfsmitteln (z.B. Spülmedium, Spülungszusätze),
- Wahrnehmungen beim Niederbringen der Bohrungen (z.B. Geruch und Färbung des Wassers und des Bodens, Bohrfortschritt, usw.),
- Ausbau der Grundwassermessstelle (Ausbauplan mit Angabe von Tiefe, Durchmesser, Ausbaumaterial, Filterstrecke, usw.).

Die Schichtenfolge, der Grundwasserstand, die wichtigsten Angaben aus dem Bohrvorgang sowie allgemeine Angaben zur Bohrung und Daten zur technischen Ausführung der Bohrung sind im Schichtenverzeichnis und Kopfblatt gemäß DIN 4022 (Teil 1 bis 3) zu dokumentieren (vgl. Kapitel 3.7: Qualitätssicherung).

Beim Bau von Messstellen in Kluftgrundwasserleitern ist insbesondere darauf zu achten, dass Wasserzutritte über Trennflächen erkannt und im Schichtenverzeichnis dokumentiert werden. Die Lage dieser Zonen bestimmt die Lage und Länge der Filterstrecken.

Zur Dokumentation und zur Bestimmung der Eigenschaften und Zusammensetzung (u.a. Kornverteilung und mineralogische Zusammensetzung) der Gesteine bzw. des Bodens ist eine ausreichende Anzahl von Bohrproben zu entnehmen. Die Probenahme sollte bei jedem Schichtwechsel, maximal jedoch im Abstand von 1 m erfolgen. Die aus dem Bohrgut entnommenen Bodenproben können weitere Informationen über Schadstoffe und Schadstoffverteilung im Untergrund liefern. Die Regeln für Probenahme und -behandlung sind in Kapitel 4.4 dargestellt. Schadstoffbelastetes Bohrgut ist ordnungsgemäß als Abfall zu entsorgen.

Für die Durchführung von Bohrungen und die Entnahme von Bohrproben sind folgende Vorschriften und Regelwerke zu berücksichtigen:

- DIN EN ISO 22475-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung: Technische Grundlagen der Ausführung
- DIN 4022, Teil 1: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels - Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels, seit 2007 ersetzt durch DIN EN ISO 14688-1.
Die DIN 4022 ist aus fachlicher Sicht anwendbar, sofern die Ansprache durch Fachpersonal (möglichst Geologe) erfolgt,
- DIN 4022, Teil 2: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels - Schichtenverzeichnis für Bohrungen im Fels (Festgestein), seit 2007 ersetzt durch DIN EN ISO 14689-1,
- DIN 4022, Teil 3: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels - Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein),
- DIN 4023: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen,
- DIN EN ISO 14688-1: Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden;
- DVGW-Regelwerk, Merkblatt W114: Gewinnung und Entnahme von Gesteinsproben bei Bohrarbeiten zur Grundwassererschließung,
- DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W115: Bohrungen zur Erkundung, Gewinnung und Beobachtung von Grundwasser,

Dokumentation

Schichtenverzeichnis

Bohrprobe

Vorschriften und Regelwerk

- DVGW-Regelwerk, Merkblatt W116: Verwendung von Spülmittelzusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwasser,
- DVGW-Regelwerk, Merkblatt W121: Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen,
- Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz – Auszug aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (KA 5 kurz).

3.3.5 Spezielle Verfahren zur Grundwasseruntersuchung

Im Bereich der Grundwasseruntersuchung wurden in den letzten Jahren einige innovative Verfahren entwickelt. Hierzu gehören die nachfolgend beschriebenen Verfahren.

Slug-and-Bail-Test

Beim Slug-and-Bail-Test handelt es sich um eine schnelle und kostengünstige Methode zur Bestimmung hydraulischer Parameter eines Grundwasserleiters. Bei dem Test wird ein Verdrängungskörper (Bailer) in den Brunnen eingeführt und gleichzeitig der Wasserstand vor und während der Veränderung und in der anschließenden Phase, in der sich wieder die vor Versuchsbeginn herrschenden Druckverhältnisse einstellen, gemessen. Beim Slug-Test wird der Verdrängungskörper wieder geborgen und der Wiederanstieg des Grundwassers gemessen. Die Messergebnisse lassen sich auf einfache Weise auswerten (SCHREINER 1998).

in-situ-Messung der Grundwasserfließrichtung

Die in-situ-Messung der Grundwasserfließrichtung beruht auf einer Auswertung der Bildaufzeichnung der vom Grundwasser mitgeführten natürlichen Schwebstoffe in einer Grundwasser-Messstelle über einen Zeitraum von ca. 1,5 Stunden. Damit kann die Grundwasserfließrichtung sowie die Strömungsgeschwindigkeit in situ ermittelt werden. Das Verfahren hat den Vorteil, dass bei komplexen Untergrundverhältnissen eine lokale Grundwasserfließrichtung durch Messung an nur einer Messstelle ermittelt werden kann.

Direct-Push-Technik

Eine Möglichkeit zur orientierenden Erkundung und zur Festlegung der Lage der Grundwassermessstellen besteht in der Direct-Push-Technik. Dabei wird eine Sonde in das Grundwasser vorgetrieben. Innerhalb dieser Sonde können mit einer In-situ-Messtechnik flammen- oder photoionisierbare Stoffe on-line halbquantitativ analysiert werden. Alternativ können direktanzeigende Sensoren mittels o.g. Technik eingebracht werden. Ergebnisse solcher Erkundungsmethoden sind jedoch durch chemische Analysen an entnommenen Proben zu kalibrieren bzw. zu überprüfen.

Low-Flow Purging and Sampling

Üblicherweise erfolgt die Entnahme von Grundwasser mit hohen Entnahmeraten bei Konstanz der Feldparameter. Das dabei entstandene Gleichgewicht reflektiert nicht unbedingt die im Grundwasserleiter vorherrschenden biogeochemischen Bedingungen, sondern entspricht eher dem durch die induzierte hohe Fließgeschwindigkeit beeinflussten Fließgleichgewicht. Zudem werden dadurch Kolloide und kolloidgebundene Schadstoffe mobilisiert, die andernfalls deutlich weniger mobil wären. Eine Möglichkeit realitätsnähere Bedingungen zu erfassen besteht im sog. Low-Flow Purging and Sampling (PULS 1996). Dabei erfolgt die Probennahme mit geringer Abpumprate (üblicherweise 0,1–0,5 l/min) und damit einer geringeren Grundwasserabsenkung ($< 0,1$ m) nach dem Abpumpen von mindestens dem 2fachen Volumen der Grundwassermessstelle. Die Probennahmepumpe sollte mindestens 24 h vor der Probennahme in der Grundwassermessstelle installiert werden. Wegen des deutlich

höheren Aufwandes gegenüber der herkömmlichen Probennahme, wird das Low-Flow Purging and Sampling voraussichtlich auf solche Fälle beschränkt bleiben, bei denen sensitive Parameter bestimmt werden sollen (z.B. Vinylchlorid, O₂, Redoxspannung).

3.4 Probennahme und Ansprache

3.4.1 Allgemeines

Chemisch-physikalische Untersuchungen von Wasserproben sollen Informationen über die Beschaffenheit sowie über die Konzentration eventuell vorhandener Schadstoffe des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer liefern.

Die Probennahme ist im Rahmen der Ermittlung der Wasserbeschaffenheit der fehlerträchtigste Vorgang. Der Einsatz ungeeigneter oder verunreinigter Gerätschaften kann ein Analyseergebnis schwerwiegender beeinflussen als Fehler bei der Durchführung der Analyse selbst. Die Probennahme muss daher sorgfältig geplant, vorbereitet und ausgeführt werden. Nur auf der Basis einer sachgerechten Probennahme

Vorgehensweise

The image shows a screenshot of a groundwater sampling form (Probennahmeformular) with the following fields:

- Stammdaten | 510935GW
- MesaGW * 4029FHE000EO
- Filterstrecke *
- Probennahmedatum (tt.mm.jjjj)
- Probennahmebezeichnung
- ALIS Gutachternamen *
- Probengewinnungsart *
- Probenart *
- Ruhewasserspiegel in m u POK
- Ruhewasserspiegel in m u NN
- abges. Wasserspiegel in m u POK
- abges. Wasserspiegel in m u NN
- Entnahmematerial *
- Entnahmetiefe in m u POK
- Packer verwendet
- Pumpdauer in Minuten
- Gesamtfördermenge in l
- Förderstrom in l/min
- Schichtenheber *
- Phasenstärke in cm
- Trübung *
- Bodensatz
- Aussehen der Probe *
- Farbe *
- Farbintensität *
- Geruch *
- Geruchsintensität *
- Anzahl der Probengeräte
- Wassertemperatur in °C
- Lufttemperatur in °C
- Redoxspannung in mV
- Redoxp. der Bezugselektrode
- pH elektrometrisch
- Leitfähigkeit in µS/cm
- Sauerstoff in mg/l
- Bemerkungen

Abb. 9
Beispiel eines
Probennahmeformulars

sind unverfälschte repräsentative Untersuchungsergebnisse möglich. Um Analysenergebnisse miteinander vergleichen zu können, ist eine einheitliche Vorgehensweise erforderlich. Es ist in jedem Fall ein umfassendes, aussagefähiges Probennahmeprotokoll anzufertigen. In Hessen wird i.d.R. die Abgabe der Untersuchungsergebnisse in einer Form gefordert, dass sie elektronisch in die Altflächendatei importiert werden können. Daher wird empfohlen, sich zur Dokumentation der Probennahme an den Vorgaben der elektronischen Formulare des „DATUS mobile“ zu orientieren (Kap. 1.7). Die Eingabefelder sind in Abbildung 9 dargestellt. Eine vollständige Liste der Eingabefelder ist unter www.hlug.de/start/altlasten/altflaechendatei.html in der Datei „Datenumfang FIS AG“ zusammengestellt.

Alternativ können Probennahmeprotokolle verwendet werden, wie sie in (LABO 2002) aufgeführt sind.

3.4.2 Beprobung von Grundwassermessstellen

Bei der erstmaligen Untersuchung wird im Regelfall der gesamte verfilterte Teil der Messstelle in Form einer Mischprobe repräsentativ beprobt (zuflussgewichtete Beprobung).

vorbereitende Maßnahmen

Im Vorfeld ist zu klären, ob das geförderte Grundwasser auf dem Gelände versickert oder in eine Kanalisation eingeleitet werden darf. Ist dies aufgrund der zu vermutenden Kontamination nicht möglich, so kann das abgepumpte Wasser in Behältern aufgefangen und später ordnungsgemäß entsorgt werden. Alternativ kann das Wasser mit einer mobilen Anlage (Sandfilter, Aktivkohleadsorber, Ionentauscher) vor Ort gereinigt werden. Kann das geförderte Grundwasser versickert werden, ist insbesondere bei gut durchlässigem Untergrund ein hydraulischer Kurzschluss zu vermeiden, indem zwischen Entnahme- und Versickerungsstelle ein ausreichender Abstand eingehalten wird.

Abpumpen bis zur Konstanz

Vor einer Grundwasserentnahme ist bei entsprechendem Verdacht zunächst, z.B. mittels Schichtenheber oder 2-Phasen-Messgerät festzustellen, ob Schadstoffphasen mit höherer oder geringerer Dichte als Wasser vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, ist ausreichend lange abzupumpen, um nicht das in der Messstelle befindliche, durch Zutritt von Luftsauerstoff chemisch veränderte Grundwasser zu beproben. Als ausreichend kann die Wassermenge bezeichnet werden, die dem zwei- bis dreifachen des wassererfüllten Volumens der Messstelle (Verrohrung und Ringraum) entspricht. Eine Probennahme sollte jedoch erst dann erfolgen, wenn die bei dem Abpumpen kontinuierlich erfassten Feldparameter (elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Temperatur) quasi-konstante Werte ergeben. Wird für einen oder mehrere Parameter auch nach längerem Abpumpen keine Konstanz erreicht, ist dies im Probennahmeprotokoll zu vermerken.

Entnahmeraten

Die Entnahmerate bei der Probennahme sollte der Ergiebigkeit der Messstelle entsprechen. Dies bedeutet, dass die Förderleistung der Pumpe so bemessen sein soll, dass die Absenkung des Grundwasserspiegels in der Messstelle nicht zu groß wird. Die Absenkung sollte nicht mehr als 10 % der wasserbenetzten Filterrohrlänge betragen. Ein zu starkes Abpumpen kann zu einer Änderung der natürlichen Grundwasserdynamik, insbesondere zu einer stärkeren vertikalen Fließkomponente führen. Dies ist zu vermeiden. Vor und nach jeder Probennahme ist der Grundwasserspiegel der Messstelle zu messen.

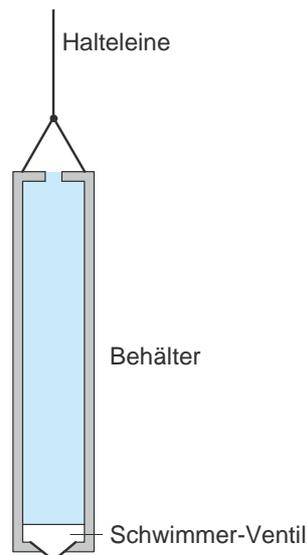
Zur Entnahme von repräsentativen Grundwasserproben sind mengenregulierbare Pumpen, bei denen die Förderleistung auf die jeweilige Ergiebigkeit des Grundwasserleiters abgestimmt werden kann, einzusetzen. In der Mehrzahl der Fälle werden Unterwassermotorpumpen (Tauchmotorpumpen) eingesetzt. Saugpumpen (z.B. Schlauchpumpen) sollten nur in begründeten Ausnahmefällen verwendet werden. Wesentlichster Nachteil des Einsatzes von Saugpumpen ist, dass der durch das Saugen entstehende Unterdruck zu einer Ausgasung von leichtflüchtigen Inhaltsstoffen und damit zu Minderbefunden führt. Vorteilhaft bei Saug-Schlauchpumpen ist, dass nach dem Einsatz die kontaminierten Teile (Schläuche) leicht gereinigt bzw. ausgetauscht werden können. Eine aufwändige Reinigung der gesamten Pumpe, wie dies bei Tauchpumpen erforderlich ist, kann entfallen. Bei hochkontaminierten Grundwässern kann der Einsatz von kostengünstigen Einwegpumpen sinnvoll sein. Durch Kombination mehrerer dieser Pumpen können größere Fördertiefen und -raten erreicht werden. Generell ist bei allen Pumpen darauf zu achten, dass sie in der Lage sind, die erforderliche Förder- oder Saughöhe zu überwinden. Einen Überblick über die gängigen für Probenahmen geeigneten Pumpen gibt Tabelle 1.

Bei der Probenahme sollte die Tauchmotorpumpe mindestens 1 m über dem unteren Ende der Filterstrecke und, wenn vom Messstellenausbau her möglich, mindestens 1–2 m unter der vorgesehenen Maximalabsenkung des Grundwasserspiegels eingebaut werden. Vergleichbares gilt für die Probenahme mittels Saugpumpen.

Mit einer gezielten Probenahme mittels Schöpfapparaten (Schichtenheber) an der Grundwasseroberfläche oder im Bereich der Grundwassersohle können aufschwimmende oder abgesunkene Schadstoffphasen festgestellt werden (Abbildung 10). Bei dem Schöpfapparat handelt es sich um einen durch Klappen oder Ventile verschließbaren Hohlkörper, der an einem Seil in das Bohrloch abgesenkt wird. In der gewünschten Tiefe wird der Verschlussmechanismus ausgelöst. Wichtig ist, dass der Schöpfapparat, um die Schichtung nicht zu stören, vorsichtig in die Phase abgesenkt wird. Geschieht das nicht, besteht die Gefahr, dass Phasen nur unvollständig erfasst werden. Solche Schöpfproben zur Feststellung von aufschwimmenden oder abgesunkenen Phasen sollten immer vor der Entnahme von Pumpproben entnommen werden. Mit Schöpfapparaten können auch Grundwasserproben aus definierten Tiefen entnommen werden. Die Schöpfproben sind jedoch nicht repräsentativ für den gesamten Grundwasserleiter.

Tiefenspezifische Probenahmen werden in der Regel erst im Rahmen einer vertiefenden Untersuchung durchgeführt. In besonderen Fällen, z.B. wenn mehrere Grundwasserstockwerke vorliegen, wenn bezüglich der hydraulischen Leitfähigkeit eine ausgeprägte Transversal-Anisotropie gegeben ist oder wenn eine vertikale Verlagerung von Schadstoffen untersucht werden soll, kann dies jedoch auch im Rahmen der erstmaligen Untersuchung sinnvoll sein. Nachfolgend sind die gängigsten Methoden für eine tiefenspezifische Probenahme beschrieben (DVWK 245):

- Stufenweise angeordnete, in verschiedenen Tiefen verfilterte Einzelmessstellen (vgl. Doppelmessstelle, Kapitel 3.3.1) sind insbesondere beim Vorliegen verschiedener Grundwasserstockwerke geeignet.



Probennahmepumpen

Einbautiefe der Pumpe

Schöpfapparate

Feststellung von Schadstoffphasen

tiefenspezifische Probenahme

Abb. 10
Schichtenheber

Tab. 1: Probennahmpumpen (Auswahl)

Pumpen- bezeichnung	Pumpen- leistung		Einsatz- grenzen		Material	Bemerkungen
	max. Förderhöhe	max. Fördermenge	min. Brunnen- durchmesser	max. Einsatztiefe		
	[m]	[l/s]	[Zoll]	[m]		
Saug-Schlauchpumpe z.B. Eijkelkamp	5	0,0–0,02 stufenlos	0,5	8	Schlauch PE und Silikon	Speziell zur Beprobung von kleinsten Durchmessern und aller Fördermedien 12 Volt Gleichstrom 1,5 Ampere
Saug-Schlauchpumpe z.B. Depa-Elro	20	2,8 oder 5,6	4	9	Schlauch PVC Hypalon CSM Edelstahl	Speziell zur Beprobung von Feuerlöschbrunnen und Fördern von großen Wasser- mengen 380 Volt 2,9 kW
E-Tauchmotorpumpe z.B. MP1 „kontaminiert“	90	0,0–0,55 stufenlos	2	30 (90*)	Pumpe Edelstahl PTFE Keramik Schlauch PVC	Standardprobennahmpumpe für kontaminiertes Wasser ohne Phase * mit spezieller Ausrüstung ist die Probennahme bis in angegebene Tiefe möglich
E-Tauchmotorpumpe z.B. MP1 „rein“	90	0,0–0,55 stufenlos	2	30	Pumpe Edelstahl PTFE Keramik Schlauch PVDF	Standardprobennahmpumpe für Wasser in Trinkwasserqua- lität 220 Volt 5,5 Ampere
E-Tauchmotorpumpe z.B. SP2A-18	100	0,75	4	50	Pumpe Edelstahl Viton Keramik Schlauch PVC	für Pumpversuche und zur Entsandung von Brunnen 380 Volt 2,2 Ampere
E-Tauchmotorpumpe z.B. SP5A-17	100	1,80	4	50	Pumpe Edelstahl Viton Keramik Schlauch PVC	für Pumpversuche und zur Entsandung von Brunnen 380 Volt 4,3 Ampere
E-Tauchpumpe z.B. SP8A-18	100	3,0	4	50	Pumpe Edelstahl Viton Keramik Schlauch PVC	für Pumpversuche und zur Entsandung von Brunnen 380 Volt 9,5 Ampere
Fußventilpumpe z.B. Waterra	30	0,025	1	30	Schlauch HDPE	für sandiges Wasser geeignet

- Liegen bei Grundwassermessstellen mehrere Bereiche vor, die nicht verfiltert, sondern mit Vollrohr und entsprechenden Tonabdichtungen im Ringraum ausgestattet sind, können aus den jeweiligen Filterabschnitten Grundwasserproben gewonnen werden. Hierzu werden im Bereich der Tondichtungen im Brunnenrohr sog. Packer eingesetzt. Eine zwischen den Packern eingebaute Pumpe erlaubt die Entnahme von Grundwasserproben aus diesem definierten Tiefenbereich. Eine Probennahme mit Hilfe von Packern oberhalb und unterhalb der Pumpe kann auch ohne eingebaute Tondichtungen erfolgen. In diesem Fall ist mit Umläufigkeiten im Ringraum zu rechnen. Um dies zu minimieren, erfolgt in der Regel oberhalb und unterhalb des beprobten Bereiches eine sog. Schutzbeprobung.
- Multilevel-Messstellen (vgl. Kapitel 3.3.1), bei denen mehrere Filter, jedes in einer bestimmten Tiefe, fest in der Messstelle bzw. in den Untergrund eingebaut sind. Jedes Filter besitzt für die Probennahme eine separate Steigleitung. Die Probennahme erfolgt mittels Mikrotauchpumpen oder saugend. Um vertikale Kurzschlüsse zwischen den einzelnen Filtern auszuschließen, sollten möglichst alle Filter gleichzeitig bepumpt bzw. beprobt werden.

Für alle bei der Probennahme mit dem Grundwasser in Berührung kommenden Gerätschaften gilt, dass weder Stoffe an das Grundwasser abgegeben noch Stoffe aus dem Grundwasser an das Geräte-Material gebunden werden dürfen. Es ist das Ziel einer qualifizierten Probennahme, eine Probe ohne vermeidbare Veränderungen zu entnehmen. Dazu gehört auch die Verwendung von möglichst kurzen Schlauchverbindungen aus möglichst inertem Material. Hierzu sind Herstellerangaben zu beachten. Es sollten ausschließlich solche Materialien verwendet werden, die speziell für diese Zwecke angeboten werden. Ferner sind nur Gerätschaften einzusetzen, die frei von Rückständen bzw. Kontaminationen aus vorherigen Probennahmen sind.

**Qualitätssicherung
bei der Probennahme**

Eine Verschleppung von Wasserinhaltsstoffen aus einer in eine andere Messstelle ist unbedingt zu vermeiden. Nach Möglichkeit sollten zunächst die im Oberstrom und danach die im Abstrom gelegenen Grundwassermessstellen beprobt werden. Zuletzt werden die im Schadenszentrum vorhandenen Messstellen beprobt (Probennahmefolge in Richtung höherer Schadstoffkonzentrationen).

**Reihenfolge der
Beprobung**

Alle Geräte, insbesondere auch Pumpen und Schläuche, sind nach jeder Probennahme, d.h. auch zwischen einzelnen Messstellen einer Verdachtsfläche, gründlich mit nicht-kontaminiertem Wasser zu säubern. Stärker verschmutzte Schläuche sollten ausgewechselt werden.

Zur Aufnahme der Proben eignen sich Glas- oder Kunststoffflaschen aus Polyethylen sowie für leichtflüchtige Substanzen Dampfraumgefäße (vgl. Kapitel 3.5). Flaschen und Probennahmegeräte sind vor der Probennahme im Labor intensiv zu reinigen, mit entmineralisiertem Wasser zu spülen und ggf. auszuheizen. Wenn kein Proben-Konservierungsmittel vorgelegt wurde, sollten die Probenflaschen (Inhalt 1000 ml) vor dem Befüllen 3–4 mal mit dem zu analysierenden Grundwasser gespült werden (vgl. HLUg 2001a: Teilthema 2.3 Probenbehandlung; DIN EN ISO 5667-3).

Probennahmegeräte

Anzahl und Art der Flaschen richten sich nach der erforderlichen unterschiedlichen Konservierungsart und den zu bestimmenden Analysenparametern. Die Gesamtprobenmenge beträgt pro Probennahme und Messstelle in der Regel 2–5 Liter.

Oft enthalten Grundwasserproben Feststoffpartikel, die an der Trübung der Probe erkennbar sind. Viele Stoffe (Schwermetalle, Metalloide, unpolare organische Verbindungen)

Probenfiltration

dungen) neigen stark zu einer Bindung an Feststoffe (z.B. Humus, Ton). Der Gesamtgehalt (gelöst und gebunden) eines solchen Stoffes ist nur in einer unfiltrierten Probe zu erfassen. Eine Filtration des Grundwassers würde zu Minderbefunden führen. Soll ausschließlich der gelöste Anteil erfasst werden, z.B. für die Bestimmung von zweiwertigem Eisen, ist die Probe (nach Möglichkeit vor dem Einfüllen in die Probenflasche) zu filtrieren.

Befüllung der Probengefäße

Die Probenflaschen sollten nicht direkt aus dem Förderschlauch, sondern aus einem Schlauch mit geringerem Querschnitt (Bypass) befüllt werden. Zur Befüllung sollte dieser ständig mit gefördertem Grundwasser durchspülte Schlauch bis auf den Flaschenboden eingeführt werden. Nach dem Volllaufen der Flasche sollte das Wasser kurze Zeit überlaufen. Nachdem der Schlauch herausgezogen wurde, ist die Flasche sofort ohne Lufteinschlüsse zu verschließen. Damit wird die Möglichkeit des Ausgasens leichtflüchtiger Schadstoffe und der Reaktion von Inhaltsstoffen mit Luftsauerstoff minimiert.

Bei Brunnen mit fest installierten Pumpen ist die Probe am Brunnenkopf (Zapfhahn, Probennahmehahn) zu entnehmen, um durch einen längeren Fließweg bedingte chemische Veränderungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Auch hier sollte die Probennahme erst erfolgen, wenn die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Temperatur konstant sind.

Vorschriften und Regelwerke zur Probennahme

Detaillierte Verfahrensbeschreibungen zur Probennahme und Bestimmung der Feldparameter sind in folgenden Vorschriften und Regelwerken enthalten:

- DIN EN ISO 5667-1 (2007): Wasserbeschaffenheit - Probennahme; Teil 1: Anleitung zur Erstellung von Probennahmeprogrammen und Probennahmetechniken (ISO 5667-1, 2006); Deutsche Fassung EN ISO 5667-1: 2006
- ISO 5667-11 (2009), Wasserbeschaffenheit; Probenahme; Teil 11: Hinweise zur Probenahme von Grundwasser (englisch)
- DIN EN ISO 5667-3 (2013): Wasserbeschaffenheit - Probenahme; Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben (ISO 5667-3, 2012); Deutsche Fassung EN ISO 5667-3, 2012
- DIN 38402-13 (1985): Probenahme aus Grundwasserleitern
- DIN EN ISO 7887 (2012): Wasserbeschaffenheit - Untersuchung und Bestimmung der Färbung (ISO 7887-2011); Deutsche Fassung EN ISO 7887, 2011
- DIN EN ISO 7027 (2000): Wasserbeschaffenheit, Bestimmung der Trübung (ISO 7027: 1999); Deutsche Fassung EN ISO 7027: 1999
- DIN EN ISO 10523 (2012): Wasserbeschaffenheit, Bestimmung des pH-Werts (ISO 10523, 2008); Deutsche Fassung EN ISO 10523, 2012
- DIN 38404-6 (1984): Bestimmung der Redox-Spannung
- DIN EN ISO 27888 (1993): Wasserbeschaffenheit, Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit (ISO 7888, 1985); Deutsche Fassung EN 27888, 1993
- Arbeitshilfe Qualitätssicherung, Kapitel 2: Gewinnung von Boden-, Bodenluft- und Grundwasserproben (LABO 2002).
- DVGW-Arbeitsblatt W 112 (2011): Grundsätze der Grundwasserprobennahme aus Grundwassermessstellen.

Bestimmung der Feldparameter

Die Bestimmung der Feldparameter an einer Wasserprobe ist Bestandteil einer qualifizierten Probennahme. Dadurch werden physikalisch-chemische Kenngrößen gemessen, die sich nach einer Probennahme noch verändern können. Für folgende Parameter werden heute zuverlässige und feldtaugliche Messgeräte angeboten (siehe auch DVGW 112):

- Temperatur
- pH-Wert
- elektrische Leitfähigkeit
- Sauerstoffgehalt
- Redox-Spannung.

Eine erhöhte Temperatur kann Hinweise auf massive mikrobielle Aktivitäten im Grundwasser geben. Der pH-Wert von unbelastetem Grundwasser liegt meist im neutralen bzw. schwach sauren oder alkalischen Bereich (pH 6–8). Je nach Art der abgelagerten Stoffe kann sich der pH-Wert des Grundwassers deutlich verändern. Die elektrische Leitfähigkeit gibt einen Anhaltspunkt für die Menge der in einer Probe gelösten Ionen (Salze). Eine deutlich erhöhte Leitfähigkeit im Abstrom einer Verdachtsfläche kann auf eine anthropogene Beeinflussung hinweisen. Der Sauerstoffgehalt kann sich im Einflussbereich einer Verdachtsfläche je nach den chemischen und biochemischen Umsetzungsprozessen erniedrigen. Die Redoxspannung beschreibt die elektrochemischen Bedingungen im Wasser (Maß für die oxidierenden und reduzierenden Eigenschaften eines Systems). Sie kann qualifiziert nur im Zusammenhang mit weiteren Parametern ausgewertet werden.

Die Messung der o.g. Parameter sollte nach Möglichkeit immer so ausgeführt werden, dass Veränderungen durch die Umgebungstemperatur, Sonneneinstrahlung und den Luftsauerstoff ausgeschlossen werden können. Dies kann durch In-situ-Messungen im Brunnen oder on-line-Messungen innerhalb eines geschlossenen Fördersystems erreicht werden. Die Messbedingungen sind zu dokumentieren.

Instrumentelle Messungen der Feldparameter sollten in der Regel durch organoleptische Prüfungen ergänzt werden. Dabei ist die Dokumentation folgender Parameter sinnvoll:

- Farbe,
- Trübung,
- Bodensatz.

Die Durchführung von Riechversuchen an Wasserproben darf nur erfolgen, wenn eine Gefährdung durch Schadstoffe ausgeschlossen werden kann. Im Zweifelsfall muss sie unterbleiben. Unbeabsichtigte geruchliche Wahrnehmungen sollten jedoch unbedingt dokumentiert werden.

Darüber hinaus ist die Verwendung von analytischen Schnellverfahren bei der Wasserprobennahme immer dann sinnvoll, wenn Informationen für Vor-Ort-Entscheidungen benötigt werden. In der DIN EN ISO 5667-3 ist angegeben, welche Parameter bevorzugt vor Ort untersucht werden sollten. Zur Anwendung von analytischen Schnellverfahren vor Ort stehen eine Reihe unterschiedlicher Verfahren zur Verfügung. Die Palette der Schnelltests umfasst folgende Verfahren:

- Teststäbchen und -röhrchen,
- Titrimetrische Schnellverfahren,
- Kolorimetrische Verfahren,
- Photometrische Verfahren,
- Biologische Schnelltests (Immunoassays),
- Sensoranalytik.

Diese Verfahren können immer dann sinnvoll sein, wenn zur Abwehr einer unmittelbaren Gefährdung, zur Klärung des Entsorgungsweges, zur Auswahl von Bepro-

organoleptische
Prüfung

analytische
Schnellverfahren

bungsstellen sowie zur Festlegung von Arbeitsschutzmaßnahmen Kenngrößen erforderlich sind. Schnelltests sollten jedoch immer projektbezogen vorbereitet und durchgeführt werden. Dabei sind Einsatz- und Bestimmungsgrenzen der Verfahren zu beachten (LFUG 1999). Schnelltests sind in der Regel nicht gerichtsfest und ersetzen nicht die Laboranalytik.

Vor Ort zu bestimmende Parameter sind die Feldparameter und „sensible“ Parameter (z.B. Ammonium). Ferner sind u.U. erforderliche Probenvorbereitungen bei der Probennahme durchzuführen (u.a. Filtrieren, Extrahieren; vgl. Kap. 3.5).

Dokumentation

Alle entnommenen Proben sind eindeutig und dauerhaft zu kennzeichnen (Kapitel 3.5). Auf den Probenflaschen sind Entnahmeort, Messstellenbezeichnung, Zeitpunkt der Probennahme und Name des Probennehmers zu vermerken. Die durchgeführte Probennahme ist in einem Protokoll schriftlich festzuhalten. Dies ist sowohl für die Beurteilung der Ergebnisse als auch für Wiederholungsmessungen wichtig. Das Protokoll ist während bzw. unmittelbar nach der Probennahme anzufertigen und den Proben beizufügen. Wichtig ist dabei, dass neben den geforderten Angaben ggf. auch Besonderheiten oder Auffälligkeiten protokolliert werden.

3.4.3 Beprobung von oberirdischen Gewässern, Quellen und Sickerwasseraustritten

Probennahmegeräte

Die Probennahme aus stehenden oder fließenden oberirdischen Gewässern erfolgt mittels Schöpfapparaten, Schöpfbechern oder Pumpen (Tauchmotorpumpen oder evtl. Saugpumpen). Die Beprobung von Quellen oder Sickerwasseraustritten erfolgt mittels Saugpumpen oder Schöpfbechern. Auf die Möglichkeit der Adsorption oder Ausgasung von leichtflüchtigen Inhaltsstoffen beim Einsatz von Saugpumpen wurde bereits unter Kapitel 3.4.1 hingewiesen. Wird nur ein geringes Probenvolumen benötigt, kann die Schöpfprobe auch unmittelbar mit der zu füllenden Probenflasche entnommen werden. Die Manipulation der Probe und damit mögliche Veränderungen (u.a. Ausgasungen) der Probe werden dadurch minimiert. Bei der Entnahme von Schöpfproben ist darauf zu achten, dass die Schöpfbewegung in Fließrichtung unter der Wasseroberfläche erfolgt, wobei die Öffnung des Schöpfgefäßes in Richtung der Strömung weist. Die Technik der Probennahme richtet sich nach der jeweiligen örtlichen Situation (z.B. Ausbildung des Gewässers) und nach der Art der gewünschten Probe (z.B. Einzelprobe bzw. Stichprobe oder Mischprobe bzw. Durchschnittsprobe).

Mischproben oder Einzelproben

Im Rahmen der Untersuchung werden bei stehenden Gewässern dort, wo mit einer Beeinflussung durch eine Schadstoffquelle bzw. einem Schadstoffeintrag zu rechnen ist, in der Regel „tiefenintegrierte Mischproben“ genommen. Solche Mischproben müssen aus Einzelproben, die aus unterschiedlichen Tiefen mit Hilfe eines Schöpfapparates entnommen werden, zusammengesetzt werden. Auf die gleiche Weise können bei fließenden Gewässern tiefenintegrierte oder querprofilintegrierte Mischproben gewonnen werden. Bei Quellen und Sickerwasseraustritten sind in der Regel Einzelproben zu entnehmen, und zwar möglichst nahe an der Wasseraustrittsstelle. Weisen oberirdische Gewässer eine aufschwimmende Schicht auf, sollte diese getrennt beprobt werden.

Die Probennahme erfolgt entweder vom Ufer oder bei größeren Gewässern vom Boot aus. Die Probennahmestellen sind mit Bojen oder Pflöcken zu markieren und in Karten oder Plänen einzutragen.

Die Bestimmung der Feldparameter erfolgt bei der Entnahme von Pumpproben ähnlich wie bei der Grundwasserprobennahme aus Messstellen. Bei Quellen und Sickerwasseraustritten sind die Feldparameter nach Möglichkeit in der Nähe der Wasseraustrittsstelle jeweils vor und nach der Probennahme zu messen.

Feldparameter

Bezüglich des Materials und der Sauberkeit der eingesetzten Gerätschaften und Probennahmegefäße, des Probenvolumens sowie der Konservierung und Kennzeichnung der Proben gelten analog die unter Kapitel 3.4.1 sowie 3.5 gemachten Angaben.

In Hessen wird empfohlen, sich zur Dokumentation der Probennahme an den Vorgaben der elektronischen Formulare des „DATUS mobile“ zu orientieren. Bei Verwendung von „DATUS mobile“, einer Software für die elektronische Übermittlung von Altflächendaten, können die Daten einfach in das Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG) einfließen (www.hlug.de/start/altlasten/datus.html). Eine ausführliche Liste aller Eingabefelder und Attribute ist unter www.hlug.de/start/altlasten/altflaechendatei.html in der Datei „Datenumfang FIS AG“ zusammengestellt.

Formulare zur Probennahme

Detaillierte Verfahrensbeschreibungen sind in folgenden Vorschriften enthalten:

- DIN 38402-A 12 (1985): Probenahme aus stehenden Gewässern
- DIN 38402-A 15 (2010): Probenahme aus Fließgewässern
- ISO 5667-4, Ausgabe: 1987-04, Wasserbeschaffenheit; Probenahme; Teil 4: Richtlinie für die Probenahme aus natürlichen und künstlichen Seen
- ISO 5667-6, Ausgabe: 2005-07, Wasserbeschaffenheit; Probenahme; Teil 6: Hinweise zur Probenahme aus Fließgewässern

3.4.4 Beprobung von Sedimenten in oberirdischen Gewässern

Sedimente in oberirdischen Gewässern bestehen aus abgelagerten Wasserinhaltsstoffen. Bei den klastischen Sedimenten handelt es sich um aus der physikalischen Verwitterung hervorgegangene Ablagerungen (z.B. Sand, Kies). Chemische Sedimente sind solche, die aus Lösungen ausgeschieden worden sind (z.B. Kalk). Beide Sedimenttypen können innerhalb eines Gewässerabschnitts oder Schichtenprofils gemeinsam auftreten.

Sedimenttypen

Schadstoffe in Sedimenten können einerseits durch Verklappung oder Verkipfung von Bauschutt, Schlacke, Industrieabfällen oder durch Einleitung von Abwässern eingetragen werden, andererseits durch Anlagerung von mit dem Wasser in gelöster oder ungelöster Form herantransportierten Wasserinhaltsstoffen. Nicht in jedem Fall sind sedimentgebundene Schadstoffe auf anthropogene Einträge zurückzuführen. Insbesondere bei sedimentgebundenen Schwermetallen kann nur durch Vergleich mit bekannten Hintergrundbelastungen oder aufgrund des lokal vorhandenen Schwermetallspektrums entschieden werden, ob die Belastung geogen oder auch anthropogen ist.

Schadstoffeintrag in Sedimente

Die Beschreibung der Sedimente erfolgt in Anlehnung an DIN 4022 und DIN 18196. Bei der Ansprache der Sedimente ist gemäß der in Kapitel 4.4.1 beschriebenen Vorgehensweise zu verfahren.

Sedimentansprache

Anders als beim Boden kann es durch Wasserbewegung, insbesondere in Fließgewässern, zu einer wiederholten Umlagerung und Vermischung von u.U. unterschiedlich belasteten Sedimenten sowie zu einer Remobilisierung von sedimentgebundenen

Remobilisierung

Schadstoffen durch Änderung der physikalisch-chemischen Milieuparameter oder durch mikrobielle Prozesse (u.a. Biolaugung) kommen.

Beprobungstiefe

Die erforderliche Beprobungstiefe hängt u.a. vom Belastungsgrad des Gewässerabschnitts ab. Der Belastungsgrad wird bestimmt durch die Art und Menge der eingebrachten Schadstoffe, den Zeitraum des Schadstoffeintrages, die Feststofffracht und die Schleppkraft bzw. Fließgeschwindigkeit.

Bei der Erkundung von kleinen oberirdischen Gewässern mit in der Regel geringmächtigen Ablagerungen (z.B. Drainagegräben, Bäche, kleine Teiche) sollte nach Möglichkeit die gesamte Sedimentabfolge sowie der oberste Teil der unterlagernden Schichten erfasst werden. Ist keine eindeutige Abgrenzung zu den unterlagernden Lockergesteinen erkennbar (z.B. bei Kiesen und Sanden) oder besteht der Verdacht einer Beeinträchtigung des Liegenden, so sollte die Erkundungstiefe nach den bei der Sedimentanalyse festgestellten organoleptischen Auffälligkeiten (Kap. 4.4.1) festgelegt werden. Hinsichtlich der erforderlichen Probenmenge gelten für Sedimente in oberirdischen Gewässern die gleichen Grundsätze wie für Bodenproben (Kapitel 4.4.4). Zusätzlich ist darauf zu achten, dass der Feinkornanteil der Probe nicht durch Auswaschung verloren geht. Im Rahmen der erstmaligen Untersuchung von Sedimenten sind in Anlehnung an die Erkundung von Boden die gleichen Kenngrößen relevant: Schadstoffgehalt, Kornverteilung, Anteil der organischen Bestandteile, Wassergehalt, Schichtenfolge. Für die Gewinnung repräsentativer Sedimentproben stehen in der Praxis folgende Aufschlussgeräte zur Verfügung:

Probennahme- geräte für Sediment- beprobungen

- **Stechrohr-Bohrgeräte** (Sedimentstecher oder Stechheber) haben sich wegen der leichten Handhabbarkeit und guten Erkundungsergebnisse bewährt. Mit ihnen sind in Weich- und Lockersedimenten (Schlämme, Schluff und Sand) nahezu ungestörte Kerne zu erhalten, wenn die Sedimentsäule nicht durch aufsteigende Gasblasen gestört wird. Bei Fein- bis Mittelsanden nimmt die Bohrkerngröße jedoch ab und der Einsatz des Gerätes ist zunehmend erschwert bzw. nicht mehr möglich (z.B. auch bei Vorhandensein von Steinen und Wurzeln). Stechrohr-Bohrgeräte (Abbildung 11) bestehen aus einem Stechrohr und einem Verschlusskolben, der das untere Ende des Rohres zunächst verschließt. Wenn sich der Stechkopf über dem Sedimentkörper befindet, wird der Kolben durch ein am oberen Ende befestigtes Stahlseil in dieser Position gehalten. Während des gesamten Bohrvorgangs bewegt sich nun das Stechrohr, am Kolben vorbei, in das Sediment. Der entstehende Unterdruck hebt die Mantelreibung zwischen ausgestanzter Sedimentsäule und Stechrohr fast völlig auf. Die Zusammenpressung ist gering und die Schichtung und Dichte der Probe bleiben weitgehend erhalten. Um beim Ziehen des Stechrohrs ein Herausrutschen des Bohrkerns zu verhindern, ist bei einigen Geräten an der Innenseite des Stechkopfes eine aufblasbare Gummimembran angebracht. Sie wird nach Beendigung des Bohrvorgangs, bevor das Rohr gezogen wird, unter Druck gesetzt und schließt so den Bohrkern an der Unterseite ein. Das Stechrohr wird per Hand entweder in das Sediment gedrückt oder mit dem Hammer in das Sediment getrieben. Bei größeren Erkundungstiefen und entsprechenden Geräten kann je nach technischer Ausführung des Bohrgerätes auch ein Vibrationshammer oder ein pneumatischer Hammer eingesetzt werden. Der Einsatz erfolgt bei größeren Wassertiefen oder bei sehr weichen Sedimenten vom Boot aus. Die mögliche Tiefe beträgt je nach Sedimentbeschaffenheit und ohne Einsatz eines maschinellen Ziehgerätes ca. 1–5 m. Prinzipiell sind mit entsprechenden Geräten Einsatztiefen bis zu einer Wasserbedeckung von 35 m möglich. Strömendes Wasser erschwert den Einsatz.

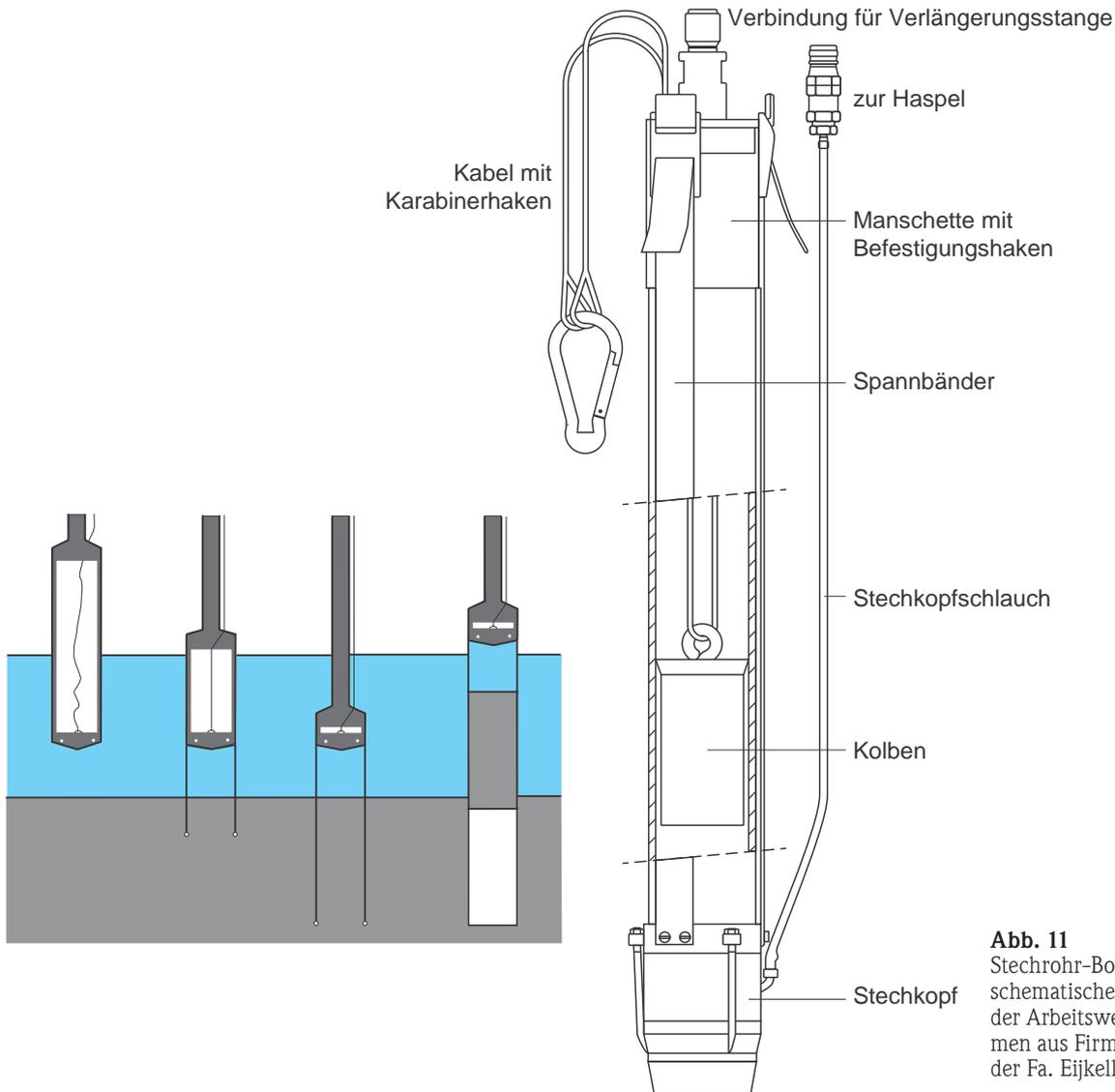


Abb. 11
Stechrohr-Bohrgerät und schematische Darstellung der Arbeitsweise (entnommen aus Firmenprospekt der Fa. Eijkelkamp)

- **Schlammlothe oder Röhrenlote** gibt es in einer großen Zahl von Modellen und Modifikationen. Teilweise arbeiten sie nach dem gleichen Prinzip wie die Stechrohr-Bohrgeräte. So wird z.B. beim Kolbenlot in der Lotröhre ebenfalls ein Vakuum erzeugt, das der inneren Mantelreibung entgegenwirkt. Relativ ungestörte Bohrkern sind das Ergebnis. Bei einigen Geräten, wie z.B. beim Stoßlot, wird eine Zusammenpressung des Bohrkerns beim Eindringen in das Sediment in Kauf genommen. Bei den Schlammloten handelt es sich meist um schwere Geräte, die auch noch bei größeren Wassertiefen eingesetzt werden können. Der Einsatz erfolgt in der Regel vom Boot aus. Bei einigen Geräten wird die Eindringtiefe durch die Größe des Balastgewichtes bestimmt. Bei anderen wiederum erfolgt der Bohrvorgang mit Druckluft.
- **Bodengreifer** eignen sich zur Beprobung härterer oder grobkörniger Sedimente. Sie haben jedoch den Nachteil geringer Eindringtiefe. Darüber hinaus liefern sie Proben mit gestörten Strukturen. Nachteilig beim Einsatz von Bodengreifern ist, dass der Feinkornanteil des Sediments ausgeschwemmt wird.

- **Gefriersonde:** Ein Hohlgestänge aus Stahl wird in den weichen Schlamm eingedrückt und mit flüssigem Stickstoff über einen Schlauch von unten her befüllt. Nach einiger Zeit (10–30 min) friert das Sediment an dem Sondenrohr fest und kann gezogen werden. Die geborgene Sedimentprobe wird aufgetrennt (Hammer und Meißel oder Säge) und dokumentiert. Probennahme ist lagenweise möglich, da die Feinschichtung ungestört erhalten ist, solange die Frostung dauert.

Qualität der Sedimentproben

Die Güte der gewinnbaren Proben nimmt in der Reihenfolge der Nennung ab. Beim Einsatz von Stechrohr-Bohrgeräten und Schlammloten muss vor der eigentlichen Probennahme das Kernmaterial ausgepresst und orientiert ausgelegt werden.

Dokumentation

Im Kontaktbereich des Sediments zum oberirdischen Gewässer und an der Sedimentbasis sind von jeweils kleineren Profilabschnitten Einzel- oder Mischproben zu entnehmen. Zu berücksichtigen ist diesbezüglich auch die Grundwassersituation (drainierende oder infiltrierende Wirkung des Gewässers) und die Möglichkeit der Umlagerung der Sedimente. Jede Probennahmestelle ist eindeutig zu kennzeichnen. Hierzu können die Flusskilometrierung, Auffälligkeiten am Ufer oder Markierungen wie z.B. Bojen oder Pflöcke verwendet werden. Die Probennahme soll in einem Schichtenverzeichnis in Anlehnung an DIN 4022 dokumentiert werden. Protokolliert werden sollten auch immer die unmittelbar nach der Probennahme am Sediment zu messenden Feldparameter. Die Messwerte sind zusammen mit den Angaben zur Probennahme in einem Probennahmeprotokoll zu dokumentieren. Die Darstellung der Schichtenfolge sollte gemäß DIN 4023 erfolgen. Für die Probenauswahl, den Probenumfang, die Probenvorbereitung und die Qualitätssicherung gelten für Sedimente in oberirdischen Gewässern analog die in Kapitel 4 in den entsprechenden Unterkapiteln beschriebenen Grundsätze und Vorgehensweisen.

Vorschriften und Regelwerke

Detaillierte Verfahrensbeschreibungen zur Probennahme sind u.a. in folgenden Vorschriften enthalten:

- DIN EN ISO 5667-15, Ausgabe: 2010-01, Wasserbeschaffenheit – Probennahme – Teil 15: Anleitung zur Konservierung von Schlamm- und Sedimentproben
- DIN 38414-11, Ausgabe: 1987-08, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Probennahme von Sedimenten (S 11)
- DIN 4022-1, Ausgabe: 1987-09, Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels
- DIN 4022-3, Ausgabe: 1982-05; Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein)
- DIN 4023, Ausgabe: 2006-02; Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen.

3.4.5 Beprobung von Sicker- und Stauwasser mit Saugkerzen

Gewinnung von Sickerwasserproben

Als eine Methode zur Abschätzung der Gefährdung des Grundwassers entsprechend den Vorgaben der BBodSchV zur Sickerwasserprognose ist die direkte Entnahme des Sickerwassers mittels der Saugsonden/Saugkerzen-Methode möglich (vgl. Kap. 6,

In-situ-Untersuchung). Nachfolgend wird das Verfahren kurz beschrieben und es wird diskutiert, welche Einschränkungen und Randbedingungen bei der Anwendung beachtet werden müssen.

Ziel der Sickerwasserprognose ist die Ermittlung der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser am „Ort der Beurteilung“, d.h. im Bereich des gesättigten Kapillarraum und der Grundwasseroberfläche. Idealerweise müsste die Gewinnung von Sickerwasserproben mittels Saugsonden oder Saugkerzen im gesättigten Kapillarraum erfolgen. Dies ist in der Praxis oft nicht möglich. Grund hierfür kann z.B. ein zu großer Grundwasserflurabstand sein. Als Alternative können in-situ-Verfahren angewendet werden, bei denen Sickerwasserproben weiter oberhalb in der ungesättigten Bodenzone gewonnen werden und dann eine Prognose der Veränderung der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser bis zur Grundwasseroberfläche durchgeführt wird.

Saugsonden werden seit ca. 50 Jahren in der Bodenkunde zur Gewinnung von Bodenlösung eingesetzt. Im DVWK-Merkblatt 217 ist die „Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzen-Methode“ beschrieben. Weitere Informationen gibt das DWA-Merkblatt 905 „Gewinnung von Bodenlösung – Beprobungssysteme und Einflussgrößen“.

Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten, werden im Normalfall an einem Standort mehrere Saugsonden gleichzeitig betrieben. Eine derartige Saugsondenanlage besteht aus den einzelnen Saugsonden, Probensammelgefäßen, einem Unterdruckbehälter und Verbindungsschläuchen. Die einzelne Saugsonde besteht aus dem Sondenkopf, einer Saugkerze und dem Schaft. Verschiedene mögliche Konfigurationen von Saugsondenanlagen sind in der nachfolgenden Abbildung 12 schematisch dargestellt:

Variante A: vertikaler Einbau der Saugsonde mit separatem Probengefäß

Variante B: vertikaler Einbau der Saugsonde mit Probengewinnung in der Sonde

Variante C: horizontaler Einbau der Saugsonde

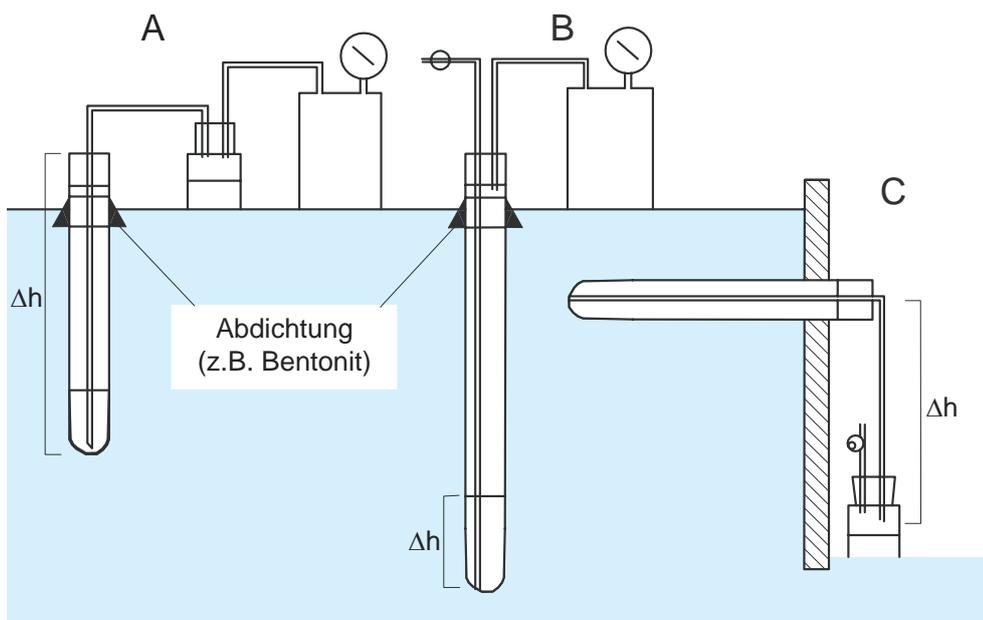


Abb. 12
Mögliche Konfigurationen
von Saugsondenanlagen (aus
DVWK 217)

Ort der Beurteilung

Aufbau einer Saugsonde

Einbauarten

Die Saugsonden können vertikal oder horizontal (von einem Schacht aus) in den Boden eingebaut werden. Dabei ist ein guter Bodenkontakt wichtig. Beim vertikalen Einbau sind ausreichende Vorkehrungen gegen das Versickern von Niederschlagswasser entlang des Sondenschafts („Schaftwasser“) zu treffen. Einzelheiten dazu finden sich in der o.g. Literatur.

Materialien für Saugkerzen

Als Saugkerzen werden poröse Materialien verwendet:

- Kunststoffe (Teflon, Nylon, PP, PE): bei anorganischen Schadstoffen
- Borosilikatglas-Sinter: bei organischen, evtl. bei anorganischen Schadstoffen
- Edelstahl-Sinter: bei organischen, evtl. bei anorganischen Schadstoffen
- Aluminiumoxid(Al_2O_3)-Sinter
- Keramik (Porzellan)

Das am besten geeignete Material muss je nach Fragestellung und zu untersuchendem Schadstoffspektrum ausgewählt werden. Die mechanische Stabilität und insbesondere Sorptions-, Lösungs- und Filtereigenschaften des Kerzenmaterials sind dabei zu berücksichtigen. Vor dem Einsatz sollten die Saugkerzen gereinigt und mit Standortwasser oder einem in der chemischen Zusammensetzung ähnlichen Wasser konditioniert werden. Ist eine Konditionierung vor dem Einbau der Sonde nicht möglich, müssen die ersten Proben verworfen werden, da sonst Minderbefunde auftreten können.

Probennahme

Sickerwasserproben können dann über Saugsonden gewonnen werden, wenn der an die Sonde angelegte Unterdruck die Saugspannung des Bodens übersteigt. Der angelegte Unterdruck sollte möglichst über den gesamten Sammelzeitraum (z.B. 1 Woche) konstant gehalten werden. Er sollte die Saugspannung des Bodens nicht sehr übersteigen, da ansonsten nicht nur das sich unter dem Einfluss der Schwerkraft nach unten bewegende Sickerwasser sondern auch fester an die Bodenpartikel gebundenes Haftwasser, das u.U. eine andere Stoffkonzentration aufweist, mit angesaugt wird. Ein saisonal wechselnder Unterdruck wird nicht empfohlen. Eine Sickerbewegung findet vorzugsweise bei hohen Bodenwassergehalten statt. Dann ist die Saugspannung des Bodens niedrig und es reicht auch ein relativ geringer Unterdruck (z.B. 200 hPa) zur Gewinnung von Sickerwasserproben aus. Für die Sickerwasserprognose ist die Stoffkonzentration im tatsächlich ins Grundwasser gelangenden Sickerwasser und nicht eine ggf. saisonal stark variierende Stoffkonzentration im Wasser in der ungesättigten Bodenzone maßgeblich. Daher sollte die Probengewinnung auch vorzugsweise im oder knapp oberhalb des Kapillarraums erfolgen. Dies schränkt die Anwendbarkeit der Saugsonden-Methode meist auf Standorte mit geringen Grundwasserflurabständen ein.

Nicht anwendbar sind Saugkerzen bei leichtflüchtigen Schadstoffen, da diese wegen des angelegten Unterdrucks verstärkt in den Gasraum der Saugkerze ausgasen. Die Anwendbarkeit bei stark sorbierenden organischen Schadstoffen wie PAK ist ebenfalls eingeschränkt, da mit deutlichen Minderbefunden zu rechnen ist.

3.5 Probenhandhabung

Kennzeichnung von Proben

Bei der Verpackung, der Kennzeichnung, der Lagerung und dem Transport der Proben muss grundsätzlich vor allem die Kennzeichnung und Dokumentation zweifelsfrei und nachvollziehbar sein, um Probenverwechslungen, Verluste, Transportschäden

und Ähnliches von vornherein weitgehend auszuschließen (vgl. DIN 38402-13). Darum empfiehlt es sich, die Kennzeichnung der Probe und Dokumentation der Probenahme im Vorfeld einer Untersuchung bereits soweit vorzubereiten, dass das Vorgehen vor Ort einfach ist. Dazu sind u.a. standardisierte Probenetiketten, Probennahmeprotokolle, Probenverwaltungsbücher und Probenlaufzettel zu verwenden. Die Kennzeichnung der Proben muss eine eindeutige Zuordnung der Dokumentation zur Probe ermöglichen. Die Proben sollten daher zumindest mit folgenden Informationen gekennzeichnet werden:

- Lagebezeichnung, Kennzeichnung der Untersuchungsmaßnahme, Projektbezeichnung, Projektnummer,
- Entnahmeort (Messstellenbezeichnung, Tiefe u.ä.)
- Probenbezeichnung (z.B. Probennummer),
- Probennehmer, Datum, ggf. Uhrzeit,
- ggf. Entnahmeart.

Es empfiehlt sich, zur Kennzeichnung der Probengefäße lösungsmittelarme Klebetiketten zu verwenden. Auf den Gebrauch von lösemittelhaltigen Faserstiften sollte grundsätzlich verzichtet werden. Weitere Informationen finden sich in: Arbeitshilfe Qualitätssicherung bei der Altlastenbearbeitung, Kapitel 2.2: Gewinnung von Boden-, Bodenluft- und Grundwasserproben, Kapitel 2.3: Probenbehandlung (LABO 2002).

Für die Dokumentation von Lagerung und Verbleib der Proben bieten sich Probenlaufzettel, Probeneingangsbücher oder eine Kombination aus beidem an. Diese Dokumentation sollte wiederum eindeutig der Probenkennzeichnung zuzuordnen sein und als Basisinformation zumindest die Probenbezeichnung bzw. die Probennummer sowie die Bezeichnung der Maßnahme bzw. des Projektes enthalten. Weiterhin sollten in der Probenverwaltungsdokumentation aufgeführt sein:

- Eingangsdatum und Herkunft der Proben,
- Ausgangsdatum und Verbleib der Proben,
- Probenart,
- Anzahl, Art und Spezifikation der Probengefäße (z.B. 2 x 1-l-Braunglasflaschen),
- Lagerungsart und -ort der Proben und
- vorgesehene Lagerungsdauer der Proben.

Probenbehälter sollen möglichst vollständig gefüllt werden, um während des Probentransportes und der Lagerung eine Reaktion der Probe mit Luftsauerstoff und eine dadurch bedingte Veränderung von Stoffkonzentration und -zusammensetzung möglichst zu vermeiden. Die einzige Ausnahme ist hier das normgerechte Abfüllen von Dampfraumproben, über denen definitionsgemäß ein gewisses Luftvolumen verbleibt. Als Probenbehälter für Wasserproben sind geeignet:

- Enghals-Glasflaschen (Braunglas) mit nicht gefetteten Schliffstopfen, Nennvolumen 0,25–1 l. Diese werden vorzugsweise eingesetzt, wenn die Untersuchung organischer Substanzen vorgesehen ist, da das Material nur in geringem Maße Wechselwirkungen mit organischen Substanzen zeigt. Die Flaschen sind vor Gebrauch eine Stunde bei 150 °C kopfüber im Trockenschrank auszuheizen.
- Kunststoffbehälter (z.B. Polyethylen PE oder Teflon PTFE, 0,25–1,0l). PE kann in Gegenwart größerer Mengen organischer Lösemittel (im Bereich der Sättigungskonzentration) quellen und zu erhöhter Oberflächenadsorption führen. Die Verwendung solcher Flaschen erfolgt nur, wenn an der Probe anorganische Stoffe, wie z.B. Schwermetalle, untersucht werden und das Flaschenmaterial gegen die Probe

Probenlagerung und -archivierung

Probenbehälter

beständig ist (Lösungsmittelkonzentration < 1 mg/l). PTFE weist dagegen kaum Sorption auf.

- Dampfraumanalysengefäße (sog. Headspace-Gläschen, 10 ml oder 20 ml) werden eingesetzt, wenn leichtflüchtige Substanzen gaschromatografisch untersucht werden. Die Gefäße haben den Vorteil, dass sie in einem entsprechend ausgerüsteten Analysenlabor ohne weitere Vorbehandlung direkt zur Untersuchung herangezogen werden können. Es ist allerdings zu beachten, dass die Gläser mit einer genau definierten Wassermenge gefüllt werden müssen (im Allgemeinen 5 oder 10 ml). Auf diese Weise verbleibt über der Probe ein Gasvolumen, der sogenannte Dampfraum. Hinweis: Aus einem Headspace-Gläschen kann nur eine Gasprobe gezogen werden. An einer Grundwassermessstelle sollten mehrere Headspace-Gläschen befüllt werden, damit ggf. eine zweite Analyse durchgeführt werden kann.

Probenkonservierung

Eine Konservierung (Stabilisierung) der Probe ist in Abhängigkeit von den zu analysierenden Parametern bereits bei der Entnahme erforderlich. Durch die Konservierung wird eine Veränderung des Analysenparameters in der Zeitspanne von der Probennahme bis zur Analyse vermieden. Aber auch eine Konservierung macht eine Probe nur für eine bestimmte, vom Analysenparameter abhängige Zeit stabil. Übliche Konservierungsverfahren sind beispielsweise die Absenkung oder Erhöhung des pH-Wertes ($< \text{pH } 2$ bzw. $> \text{pH } 11$). Hierzu werden verschiedene konzentrierte Säuren (HNO_3 , H_2SO_4 , HCl) oder Laugen verwendet. Es ist zu beachten, dass eine bestimmte Konservierung die Analyse vieler anderer Parameter in der gleichen Probe ausschließt. Weitere, u.U. vor Ort durchzuführende Schritte können sein:

- Filtration,
- Zugabe eines Extraktionsmittels.

Für die genaue Dosierung der Extraktionsmittelmenge muss auf einen sog. Dispenser oder eine Messpipette (z.B. Kolbenhubpipette mit Einmalspitze) zurückgegriffen werden. Extrakte sind in der Regel länger haltbar als die Originalprobe.

Art und Umfang der Konservierung sind in der DIN EN ISO 5667-3 detailliert erläutert. Es ist zu beachten, dass die in der Norm festgelegten Vorgaben für einige organische Parameter nicht ausreichend sind. Speziell bei mikrobiologisch aktiven Proben wurde bei Anwendung der Normvorgaben eine erhebliche Abnahme der Konzentration einiger Stoffe im Zeitraum zwischen der Probennahme und der Laboranalyse festgestellt. Eine effektive Stabilisierung für diese Stoffe konnte durch eine pH-Wert-Absenkung auf $\text{pH } < 2$ erreicht werden (LFP 2013).

Sämtliche Chemikalien, die zur Probenkonditionierung eingesetzt werden, müssen Analysenqualität aufweisen (p.a.). Alle Aktivitäten zur Probenkonditionierung sollten sehr sorgfältig vorher mit dem Labor abgestimmt werden, in dem die Analysen später durchgeführt werden sollen. Veränderungen der Probe wie Ausfällungen, Farbänderungen, Gasbildungen und Ähnliches, die bei der Konditionierung auftreten, sind unbedingt im Probennahmeprotokoll festzuhalten.

Transport und Lagerung von Proben

Transport und Lagerung der Proben sollten möglichst kühl, dunkel (geschlossene Kühlbehälter) und erschütterungsfrei sein. Eine Temperatur von ca. 4 °C sollte nicht überschritten werden. Bei der Verwendung von Kühlaggregaten ist zu beachten, dass durch die Kühlmittel möglicherweise Querkontaminationen entstehen. Unter besonderen Umständen kann auch das Schockgefrieren von Proben sinnvoll sein. Zu diesem Zweck füllt man sie in ein Metallbehältnis mit Spannringdeckel und taucht dieses in flüssigen Stickstoff.

Nicht-stabilisierte Originalwasserproben sollten auch gekühlt nicht länger als 24 Stunden gelagert werden. Für bestimmte Parameter (z.B. Ammonium) ist eine umgehende Bestimmung (Lagerungsdauer < 6 h) notwendig. Unter Umständen können sensible Parameter auch vor Ort analysiert werden.

Die Entsorgung von Restproben, Extrakten und aufbereiteten Proben erfolgt in Hessen in aller Regel über den Träger der Sonderabfallentsorgung, die HIM GmbH. Derartige Proben haben den gleichen Status wie Restchemikalien und Laborabfälle. Dies gilt insbesondere für Proben mit unbekanntem Inhalt oder einer analytisch bestimmten hohen Konzentration an Schadstoffen. Sofern analytisch nachgewiesen wird, dass die Grenzwerte der kommunalen Einleitererlaubnis, der Indirekteinleiterverordnung und der örtlichen Kanalsatzung unterschritten sind, kann die Probe in die Kanalisation gegeben werden.

Entsorgung von Proben

3.6 Chemische Untersuchungen

Die Analysenverfahren für Wasser sind in Deutschland weitgehend standardisiert. Sie erscheinen als regelmäßig aktualisierte Loseblattsammlung unter dem Titel „Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung“, die von der Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker und dem Normenausschuss Wasserwesen im DIN (Deutsches Institut für Normung) herausgegeben werden. Hinsichtlich der Untersuchung von Feststoffproben sei auf die entsprechenden Kapitel der Bodenuntersuchung verwiesen (Kapitel 4).

Analysenverfahren

Der eigentlichen Analyse einer Probe geht in der Regel eine Probenvorbereitung voraus. Obwohl diese Arbeitsschritte in aller Regel von der eigentlichen Probennahme getrennt im chemischen Laboratorium durchgeführt werden, ist die Kenntnis der Vorgänge für die Interpretation der resultierenden Analysenergebnisse von grundlegender Bedeutung. Aus diesem Grunde werden nachstehend die gängigsten Verfahren kurz erläutert. Zur Vorbereitung von Wasserproben stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Vorbereitung beinhaltet auch eine Aufkonzentrierung (Eindampfen, Extrahieren) der Probe:

Probenvorbereitung

- **Filtration:** Im Allgemeinen erfolgt die Filtration über Glasfaser- oder Papierfilter, im Ausnahmefall auch über Membranfilter (üblicherweise mit einer Porenweite von 0,45 µm). Es ist vor allen Dingen bei den Glasfaser- und Papierfiltern darauf zu achten, dass die Filter vor der eigentlichen Beaufschlagung mit der Probe vorbeuchtet werden und dass der Vorlauf (< 100 ml), der den Filter passiert, verworfen wird. Je nachdem, ob eine Filtration durchgeführt wurde oder nicht, sind die späteren Analysenergebnisse auf den gelösten Gehalt oder den Gesamtgehalt der Probe zu beziehen. In manchen Fällen ist eine Filtration der Probe nicht sinnvoll, da die zu untersuchende Substanz am Filtermedium adsorbiert wird.
- **Phasentrennung:** Sofern in einer flüssigen Probe zwei oder mehr Phasen vorliegen, wird die nicht-wässrige Phase abgetrennt und separat nach besonderen Verfahren untersucht (die unten aufgeführten Verfahren sind nur für die Untersuchung von Wasserproben geeignet).
- **Homogenisieren:** Wenn Proben geteilt werden sollen oder getrübe Proben als Suspension untersucht werden sollen, ist vorher eine Homogenisierung notwendig. Diese wird gemäß (DIN 38402-30) mit einem Magnetrührer durchgeführt.

- **Eindampfen:** Das Aufkonzentrieren einer Probe geschieht im Regelfall mit einem Rotationsverdampfer bei Unterdruck und moderaten Temperaturen (bis 30 °C).
- **Extrahieren:** Bei den Extraktionen nutzt man aus, dass sich in einem Gemisch von 2 Phasen für einen gelösten Stoff ein Verteilungsgleichgewicht zwischen den Phasen einstellt. In der Praxis wird zu einer definierten Wassermenge eine definierte Menge eines unpolaren, mit Wasser nicht mischbaren Lösungsmittels gegeben. Unpolare Stoffe, die sich in geringen, aber durchaus umweltrelevanten Konzentrationen im Wasser befinden, gehen bei kräftiger Durchmischung bis zum Lösungsgleichgewicht in die unpolare Phase (Extraktionsmittel) über. Das Extraktionsmittel wird dann abgetrennt und analysiert.

Eine korrekte Bewertung einer Grundwasseranalyse erfordert neben der Analyse der Schadstoffe die Kenntnis weiterer repräsentativer Rahmendaten, die die generelle Grundwassersituation an einer Messstelle beschreiben. Hierzu zählen die Feldparameter (Kap. 3.4.1) sowie sog. Grundparameter. Für die Zusammenstellung eines Analysenprogramms gilt daher nachstehende Vorgehensweise (vgl. Kap. 3.2.3, siehe auch DVWK 125):

Analysenprogramm

Aus der historischen Erkundung, der Erfassung oder anderen Quellen kann zuverlässig auf ein konkretes Schadstoffspektrum geschlossen werden. Dies ist zumeist bei Altstandorten der Fall. Folgende Untersuchungen sind durchzuführen:

Altstandorte

- Feldparameter (bei jeder Probennahme),
- Grundparameter (Tabelle 2) zur Qualitätssicherung (Ionenbilanz) und zur qualitativen Charakterisierung des Grundwasserleiters (bei den ersten zwei bis drei Beprobungen; bei langfristigen Überwachungsmaßnahmen in regelmäßigen Abständen, z.B. jährlich),
- die zu erwartenden Substanzen (Verdachtparameter) (bei jeder Probennahme).

Es gibt keine konkreten Verdachtparameter, da das zu erwartende Stoffspektrum entweder zu komplex oder unbekannt ist. Dies ist oft bei Altablagerungen der Fall. Folgende Untersuchungen sind durchzuführen:

Altablagerungen

- Feldparameter (bei jeder Probennahme),
- Umfassendes Analysenprogramm (Tabelle 3) (bei den ersten zwei oder drei Beprobungen; für Langzeitüberwachungen können die anhand dieser Daten identifizierbaren Leitsubstanzen dienen).

Sofern die Grundwasserqualität (Grundparameter) an einer Messstelle hinreichend bekannt ist, kann man sich bei der Erkundung auf die standortspezifischen Parameter beschränken. Einzelheiten zur Identifizierung von branchenspezifischen Parametern können der Literatur entnommen werden (u.a. RIPPEN 2010, LUBW 1999).

organische Summenparameter

Bei der Bestimmung der Summenparameter werden gruppenspezifische Substanzklassen erfasst. Die Detektion ist nicht einzelstoffspezifisch. Zu den Summenparametern zählen u.a. Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW), AOX, EOX und Phenolindex. Eine gezielte Einzelsubstanzeanalyse bei hohen Summenparameter-Konzentrationen führt bei bestimmten Fällen zu einem zusätzlichen Informationsgewinn.

Bei organischen Auffälligkeiten (Farbe, Geruch, aufschwimmende Phase) können auch weitere Stoffe analysiert werden. Stoffe, die als Betriebsmittel oder Rückstände einer ehemaligen Produktion oder Abfallablagerung bekannt sind, sollten ebenfalls in das Untersuchungsprogramm mit einbezogen werden. In diesen Fällen ist durch Rücksprache mit dem chemischen Laboratorium zu klären, mit welchen Analysen-

Tab. 2: Grundparametersatz - Grundwasser (Altstandorte)

Anionen	
Chlorid	Nitrat
Sulfat	Hydrogencarbonat
Kationen	
Ammonium-N	Calcium
Natrium	Mangan
Kalium	Eisen
Magnesium	
Sonstige Parameter	
Trockenrückstand ¹ bei 180° C	
Glührückstand ¹ bei 450° C	
Verdachtsparameter	
nach Vorauswahl	

¹ Das Trocknen der Probe bei 180 °C wird gegenüber der DIN-Vorschrift (105 °C) deswegen eingeführt, weil 105 °C zu wenig und zu undefiniert Kristallwasser aus den sich abscheidenden Salzen entfernt. Bei 180 °C tritt noch keine Karbonatzerersetzung bzw. Verbrennung organischer Substanz auf. Die Glühtemperatur von 450 °C wird gewählt, um Karbonatzerersetzung zu vermeiden.

verfahren die Stoffe bestimmbar sind und welche Bestimmungsgrenzen erreichbar sind. Hier ist lediglich die Untersuchung solcher Stoffe sinnvoll, die am Standort in maßgeblichen Mengen gehandhabt worden sind und eine in Anbetracht des Handlungszeitraums relevante Persistenz besitzen.

Die Analysenverfahren für die einzelnen in Tabelle 2 und Tabelle 3 genannten Parameter sind detailliert im Fachmodul Boden und Altlasten (LABO 2012) sowie in der LAGA-Methodensammlung Abfalluntersuchung (LAGA 2012) aufgeführt. Auf der Internetseite des Fachbeirats Bodenuntersuchung (FBU) können aktuelle Listen mit Analysenverfahren nach BBodSchV sowie gleichwertigen Verfahren eingesehen werden (FBU 2013).

In Einzelfällen kann es sinnvoll sein, problembezogen von dem in Tabelle 3 genannten Parameterumfang abzuweichen. Sofern nach dem Stand der Erkenntnisse bestimmte Parameter mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können, können diese im Analysenprogramm entfallen. Dabei ist zu beachten, dass die in Tabelle 3 genannten Parameter (Chlorid, Sulfat, Nitrat, Nitrit, Hydrogencarbonat, Ammonium-N, Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, Mangan, Eisen, Trockenrückstand, Glührückstand) zusammen mit den Feldparametern der grundsätzlichen Beschreibung der Grundwasserqualität dienen und zur Beschreibung der allgemeinen Grundwasserqualität zumindest bei den ersten Beprobungen einer Messstelle mit untersucht werden sollten. Weitere Verdachtsparameter sind zu ergänzen.

Analysenmethoden

Tab. 3: Umfassender Parametersatz – Grundwasser (Altablagerungen)(Continued)

Anionen		
Chlorid	Nitrit	Borat-B
Sulfat	Hydrogencarbonat	leicht freisetzbare Cyanide
Nitrat	Phosphat-P	
Kationen		
Ammonium-N	Cadmium	Kupfer
Natrium	Chrom (VI)	Nickel
Kalium	Chrom, gesamt	Quecksilber
Magnesium	Calcium	Zink
Arsen	Mangan	
Blei	Eisen	
LHKW (Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe)		
Tetrachlormethan	1,1-Dichlorethan	trans-1,2-Dichlorethen
Trichlormethan	Tetrachlorethen	1,1-Dichlorethen
Dichlormethan	Trichlorethen	Vinylchlorid
1,1,1-Trichlorethan	cis-1,2-Dichlorethen	
BTEX (Einkernige aromatische Kohlenwasserstoffe, Benzol und C₁-C₂ substituiert)		
Benzol	Ethylbenzol	Styrol
Toluol	Xylole	
PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)		
Naphthalin	Fluoranthen	Benzo[a]pyren
Acenaphthylen	Pyren	Dibenzo[a,h]anthracen
Acenaphthen	Benz[a]anthracen	Benzo[ghi]perylen
Fluoren	Chrysen	Indeno[1,2,3-cd]pyren
Phenanthren	Benzo[b]fluoranthen	
Anthracen	Benzo[k]fluoranthen	
PCB (Polychlorierte Biphenyle)		
PCB 28	PCB 101	PCB 153
PCB 52	PCB 138	PCB 180
Sonstige Parameter		
Trockenrückstand ¹ bei 180 °C		Glührückstand ¹ bei 450 °C
Summenparameter		
Mineralöl- kohlenwasserstoffe	Phenol-Index AOX	DOC
Verdachtsparameter		
nach Vorauswahl		

¹ Das Trocknen der Probe bei 180 °C wird gegenüber der DIN-Vorschrift (105 °C) deswegen eingeführt, weil 105 °C zu wenig und zu undefiniert Kristallwasser aus den sich abscheidenden Salzen entfernt. Bei 180 °C tritt noch keine Karbonatzersetzung bzw. Verbrennung organischer Substanz auf. Die Glühtemperatur von 450 °C wird gewählt, um Karbonatzersetzung zu vermeiden.

3.7 Qualitätssicherung

Qualitätssichernde Maßnahmen im Rahmen der Wassererkundung sind in den vorangehenden Teilkapiteln beschrieben. Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte zusammenfassend dargestellt.

Bei Bohrungen für den Bau von Messstellen sind folgende Aspekte von Bedeutung:

- eingesetzte Geräte können durch Emission von Betriebsstoffen und Schmiermitteln zu einer Kontamination von Boden und Grundwasser führen,
- eingesetztes Material und dessen aktueller Zustand kann z.B. durch Oberflächenbehandlung, Reinigung oder Verschleiß einen Einfluss auf die Proben nehmen,
- Maßnahmen zur Vermeidung von Kontaminationen und Schadstoff-Verschleppungen, z.B. beim Bohren und beim Ausbau, sind erforderlich und in den QS-Anweisungen zu beschreiben.

**Bohrungen und
Messstellenbau**

Die Beschreibung des Untergrundes (Bohrkernansprache) ist auf entsprechenden Formblättern DIN-gerecht vor Ort zu dokumentieren. Feldprotokolle sind im Original den Berichten beizufügen, um Übertragungsfehler zu vermeiden.

Bohrkernansprache

Fotodokumentationen sind so durchzuführen, dass die wesentlichen Merkmale, z.B. des Bohrkerns, erkennbar sind. Messstellenbezeichnung, Aufnahmedatum und Farbskala sollten auf jedem Foto enthalten sein. Fotodokumentationen sollten bei Bohrungen angefertigt werden. Bei Sondierungen können sie ggf. entfallen.

Für eine fachgerechte Probennahme ist es erforderlich, den Wasserinhalt einer Messstelle so oft auszutauschen, dass die Wasserprobe repräsentativ für das Grundwasser im Umfeld dieser Messstelle ist. Dies kann durch größenordnungsmäßige Berechnung der abzupumpenden Volumina vor der Probennahme abgeschätzt werden. Bei der Probennahme ist die Repräsentanz der Wasserprobe durch die Überwachung der permanent gemessenen Feldparameter zu prüfen und zu dokumentieren.

Probennahme

3.8 Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodelle

Für die Simulation von Strömungs- und Stofftransportprozessen im Grundwasser ist die Kenntnis zahlreicher Modellparameter und deren Zusammenwirken erforderlich. Dies umfasst hauptsächlich den detaillierten hydrogeologischen Untergundaufbau am Untersuchungsstandort, Stoffeigenschaften der im Grundwasser gelösten Stoffe, deren räumliche Verteilung sowie alle den Transport beeinflussenden standortspezifischen Parameter und Prozesse. Der notwendige Grad der Detailliertheit der Parameter hängt entscheidend von den zu lösenden Aufgaben und der Größe des Modellgebietes ab. Wegen dieses hohen Aufwandes kommen Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodelle meist erst bei Sanierungsuntersuchungen zur Anwendung.

Im Zuge der Erkundung kommen Modelle nur dann zur Anwendung, wenn sehr ausgedehnte Kontaminationen mit u.U. sehr großen Abstromfahnen oder komplexe hydraulische Bedingungen vorliegen. Die Anwendung der Modelle ist ein Hilfsmittel für die Positionierung weiterer Grundwassermessstellen mit dem Ziel:

- die Abstromfahne in ihrer Gesamtausdehnung vollständig zu erfassen,
- den Abstrom kontaminierten Wassers vollständig zu erfassen.

Weitere Informationen zur Simulation von Grundwasserströmungs- und Transportprozessen finden sich bei HLUG (2001a), FH-DGG (1999) und KORA (2008).

4 Bodenerkundung

4.1 Allgemeines, Zielsetzung

4.1.1 Definitionen

Definition von Boden	Für den Boden gibt es zahlreiche Definitionen. Im engeren Sinne wird mit Boden die obere, belebte Schicht der Erdkruste bezeichnet. Boden besteht aus mineralischen und organischen Bestandteilen, die das Bodengefüge bilden. Das so entstandene Hohlraumsystem wird von Bodenluft und Bodenwasser bzw. -lösung ausgefüllt.
BBodSchG	Das BBodSchG fasst in § 2 Abs. 2 den Bodenbegriff weiter. Im Sinne des BBodSchG ist Boden die obere Schicht der Erdkruste einschließlich der flüssigen (Bodenlösung) und gasförmigen Bestandteile (Bodenluft), soweit der Boden natürliche Funktionen als Lebensraum und für den Wasserkreislauf sowie Nutzungsfunktionen hat. Grundwasser und Gewässerbetten zählen nicht zum Boden.
Definition im Handbuch	Im vorliegenden Handbuch wird der Begriff Boden in Anlehnung an das BBodSchG verwendet. Unter Boden sind im folgenden Lockergesteine, Lockerböden, Festgesteine oder Fels mit ihren Verwitterungsformen, organische Böden und aufgefüllte Böden zu verstehen. Als weiteres sind Auffüllungen aus Fremdstoffen zu nennen, z.B. Bauschutt, Schlacke, Klärschlamm, Müll und Produktionsrückstände. Diese werden ebenfalls mit Techniken der Bodenerkundung untersucht.
Bodenmaterial	Als Bodenmaterial wird bei Baumaßnahmen ausgehobenes, verlagertes oder behandeltes Material aus Böden bezeichnet (§ 2 Nr. 1 BBodSchV). Im Unterschied zum Boden erfüllt Bodenmaterial keine Funktionen nach § 2 Abs. 2 BBodSchG. Kontaminiertes Bodenmaterial ist gemäß KrWG Abfall zur Entsorgung bzw. zur Verwertung. Für den Wiedereinbau des Bodenmaterials auf Altlasten und im Bereich schädlicher Bodenveränderungen gelten die Vorgaben nach § 13 Abs. 5 BBodSchG und § 5 Abs. 6 BBodSchV. Weitere Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Bodenmaterialien auf oder in Böden regelt § 12 BBodSchV.

4.1.2 Zielsetzungen und Rahmenbedingungen der Erkundungen

Schadstoffe	<p>Bei der Erkundung von altlastverdächtigen Flächen (Alttablagerungen und Altstandorte) treten Schadstoffe als zu untersuchende Bodenbestandteile auf. Schadstoffe können im Boden entweder als flüssige, pastöse oder feste Phase vorliegen, oder die Schadstoffe sind an Bodenpartikeln adsorbiert, im Bodenwasser gelöst oder Bestandteil der Bodenluft. Schadstoffe treten in Wechselwirkung mit den Bodenpartikeln, dem Bodenwasser und der Bodenluft. Diese Wechselwirkungen haben großen Einfluss auf das Migrationsverhalten der Schadstoffe.</p> <p>Gemäß § 3 der BBodSchV werden Verdachtsflächen oder altlastverdächtige Flächen bei Vorliegen entsprechender Hinweise i.d.R. in zwei Schritten untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Orientierende Untersuchung • Detailuntersuchung
Orientierende Untersuchung	Die orientierende Untersuchung dient der Feststellung, ob konkrete Anhaltspunkte für den hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast vorliegen (§ 2 Nr. 3 BBodSchV). Ist ein solcher Verdacht begründet, soll eine Detailuntersuchung durchgeführt werden (§ 9 Abs. 2 BBodSchG).

Die Detailuntersuchung soll eine abschließende Gefährdungsabschätzung ermöglichen (§ 2 Nr. 4 BBodSchV). Dabei sind alle Wirkungspfade zu berücksichtigen, für die sich aufgrund der vorliegenden Informationen der Verdacht einer Gefahr ergibt. Die Ergebnisse der Detailuntersuchung sind daraufhin zu bewerten, ob und für welche Teilbereiche Sanierungsmaßnahmen für den Boden und das Grundwasser erforderlich sind. Nach Anhang 1 Nr. 1.2 BBodSchV sollen im Rahmen einer Detailuntersuchung die für die verschiedenen Wirkungspfade bedeutsamen mobilen und mobilisierbaren Anteile der Schadstoffgehalte geklärt werden. Weiterhin soll festgestellt werden, ob sich aus räumlich begrenzten Anreicherungen von Schadstoffen innerhalb einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche Gefahren ergeben und ob und wie eine Abgrenzung von nicht belasteten Flächen geboten ist.

Bei einer Detailuntersuchung ist ein Standort umfassend zu erkunden und zu beschreiben, so dass ein möglichst wirklichkeitsnahes Modell der Schadstoffbelastung aufgestellt werden kann. Insbesondere soll die Schadstoffbelastung des Bodens räumlich möglichst zutreffend beschrieben werden und deren Entstehen nachvollziehbar sein. Eine Beschränkung des Untersuchungsumfangs auf einzelne Wirkungspfade, z.B. die Untersuchung nur oberflächennaher Bodenschichten für den Wirkungspfad Boden→Mensch, wird den Anforderungen einer Detailuntersuchung nicht gerecht.

Abfallrelevante Fragestellungen wie z.B. die Abschätzung der Entsorgungskosten von Bodenaushub sind in der Regel nicht Gegenstand einer Detailuntersuchung. Sie können aber begleitend zu dieser bearbeitet werden.

Im Rahmen einer Detailuntersuchung sind insbesondere folgende Informationen zu ermitteln (HLUG 2001a, LABO 2002):

- Menge und räumliche Verteilung der Schadstoffe
- Mobilität und Mobilisierbarkeit der Schadstoffe
- Ausbreitung der Schadstoffe im Boden und in Gewässern
- Austragsraten in Gewässer oder in die Luft
- Exposition der Schutzgüter.

Die Detailuntersuchung muss den nachfolgend aufgeführten Kenntnisstand über die altlastverdächtige Fläche als Grundlage für die abschließende Gefährdungsabschätzung und für die Bewertung liefern.

- Geologische, hydrogeologische und hydrologische Situation:
 - Mächtigkeit und Aufbau der ungesättigten Zone
 - Anzahl der Grundwasserleiter einschließlich hydraulischer Trennschichten
 - Tiefenlage, Mächtigkeit und Aufbau der Grundwasserleiter
 - Flurabstand des Grundwassers im oberen Grundwasserleiter
 - Fließrichtung und Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers
 - Durchlässigkeit und Transmissivität der Bodenschichten
 - Niederschlag, Sickerwasser- und Grundwasserneubildungsrate
 - (jahres)zeitlich veränderliche Einflüsse, z.B. Schwankungen des Flurabstandes und der Sickerwasserrate.
- Schadstoffeintrag in den Boden:
 - Mögliche Schadensursache
 - Stoffeintrag flächenhaft oder punktuell, von der Oberfläche oder erst ab einer bestimmten Tiefe.

Detailuntersuchung

**umfassende
Erkundung aller
relevanter
Wirkungspfade**

**erforderlicher
Kenntnisstand nach
Detailuntersuchung**

- Menge und Verteilung der Schadstoffe:
 - Schadstoffspektrum
 - Schadstoffkonzentration im Boden, Sicker-, Stau- und Grundwasser
 - horizontale und vertikale Verteilung
 - Gesamtmenge an Schadstoffen auf der Verdachtsfläche
 - Hintergrundgehalte.
- Ausbreitung relevanter Schadstoffe:
 - Mobilisierbarkeit, Mobilität, Verfügbarkeit
 - Ausbreitung im Boden, Grundwasser und in der Bodenluft
 - Schadstofffracht
 - horizontale Schadstoffausbreitung auf stauenden Schichten
 - mikrobielle und chemische Umwandlungs- und Abbauprozesse, Sorption, Akkumulation.
- Nutzung, Umfeld, Wirkungspfade, Schutzgüter:
 - ehemalige, derzeitige, rechtlich zulässige und geplante Nutzung
 - Nutzungsempfindlichkeit des Umfeldes
 - relevante Wirkungspfade
 - Expositionsbedingungen.

DIN-Normen

Für die geotechnische Felduntersuchung, deren Planung, Ausführung und Auswertung liegen erprobte Methoden und Techniken vor, die in verschiedenen Regelwerken definiert und nominiert sind. DIN 4021 und DIN 4022 sind seit 2007 durch DIN EN ISO 14688-1 und -2, DIN EN ISO 14689-1 sowie durch DIN EN ISO 22475-1 ersetzt.

Für die Erkundung von Verdachtsflächen existieren keine Normen mit vergleichbaren konkreten Handlungsempfehlungen. DIN 4020, DIN 4021 und DIN 4022 bzw. DIN EN ISO 22475-1 können in Teilen angewendet werden. Insbesondere Regeln für die Erkundung des Bodens für bautechnische Zwecke können auch auf die Erkundung für sanierungstechnische Zwecke angewendet werden.

Bodenkundliche Kartieranleitung

Für die Bodenansprache ist in Anhang 1 der BBodSchV die Bodenkundliche Kartieranleitung (KA) der Geologischen Landesämter genannt. Die KA ist in dem Umfang anzuwenden, der für die Gefahrenbeurteilung erforderlich ist.

Arbeitshilfe für die Bodenansprache im Bodenschutz

Für die Erkundung schadstoffbelasteter Flächen steht eine gekürzte Fassung der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 zur Verfügung, in der die für die Vollzugspraxis wesentlichen Inhalte der KA 5 zusammengestellt sind. Es handelt sich um die Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz (KA 5 kurz).

Verantwortung des Bodenkartierers/ Gutachters

Da keine eindeutigen Regelungen für die Erkundung von Verdachtsflächen und Altlasten vorliegen, ist im Einzelfall über die Vorgehensweise zu entscheiden. Hierbei kommt der Fachkunde des Bodenkartierers/Gutachters eine besondere Bedeutung zu. Für eine ausreichende Dokumentation seiner Arbeitsergebnisse und eine Begründung für die gewählte Vorgehensweise ist der Kartierer/Gutachter verantwortlich.

Arbeitshilfen Qualitätssicherung

Grundlegende Hinweise zu Zielsetzungen, Grundlagen, Voraussetzungen, Definitionen, Einflüssen auf die Qualität von Probenrastern, Probennahmen und Analysen, Arbeitsschutz und Dokumentation gibt (DIN ISO 10381-1). Die „Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung“ des Altlastenausschusses der LABO (LABO 2002) enthalten weitere Hinweise zur Konzeptionierung und Umsetzung von Maßnahmen zur Erkundung von altlastverdächtigen Flächen.

4.2 Erkundungskonzept

4.2.1 Grundlagen

Ein einheitliches und für alle Fälle gültiges Erkundungskonzept kann für die Erkundung von Altablagerungen, Altstandorten und Schadensfällen nicht vorgegeben werden. Vielmehr sind unter Beachtung der geltenden Regeln und nach dem Stand der Technik die für den Einzelfall geeigneten Lösungen zu finden.

Die orientierende Untersuchung dient primär dazu festzustellen, ob sich konkrete Anhaltspunkte für das Vorhandensein einer schädlichen Bodenveränderung ergeben. Entsprechend kann der Untersuchungsumfang auf ein standort- und sachgerechtes Mindestmaß begrenzt werden. Die Detailuntersuchung verfolgt hingegen das Ziel, das Schadstoffspektrum und die Ausdehnung der kontaminierten Bereiche zu ermitteln. Das jeweilige Untersuchungsziel bestimmt das Erkundungskonzept.

Zur Vorbereitung des Erkundungskonzeptes bei der orientierenden Untersuchung und der Detailuntersuchung sind die Vorkenntnisse aus der Historischen Erkundung auszuwerten, insbesondere:

- die zu erwartenden Untergrundverhältnisse (Altablagerungsmaterial, Bauschuttverfüllungen, Fundamentreste, aufgefüllte Böden, natürlich anstehende Böden, Fels)
- Art und Umfang der zu erwartenden oder zu vermutenden Schadstoffbelastungen (Schadstoffinventar)
- zu erwartende hydrogeologische Verhältnisse
- Vorhandensein von Störstoffen wie Munitionsreste oder Bombenblindgänger.

Daneben sind für eine sachgerechte Erkundung die aktuellen Standortbedingungen zu ermitteln und zu berücksichtigen:

- Zutrittsberechtigungen, Belange von Nutzern, Platzbedarf für Geräte und Ausrüstung, Verkehrssicherung
- Gerätetechnische Vorkehrungen bei Aufschlussarbeiten innerhalb von Gebäuden
- derzeitige Geländebeschaffenheit (Versiegelung, Bebauung und Bewuchs) für Erreichbarkeit von Untersuchungspunkten oder Befahrbarkeit für Geräte
- zu erhaltende Oberflächen, ober- und unterirdische Einrichtungen (z.B. Tanks)
- mögliche Gefährdungen und Schäden: Abgase bei Arbeiten in Gebäuden, unterirdische Leitungen, unterirdische Bauwerke
- Gefahr von Querkontaminationen durch Untersuchungen in Anlagen, in denen noch mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wird
- klimatische Verhältnisse während der Feldarbeiten (z.B. Regen, Auswaschungen, Temperatur, Frost, Verdunstung) und deren Auswirkung auf Probennahmezeitpunkt und -technik.

Hieraus ergeben sich für das Erkundungskonzept Anforderungen an:

- vorbereitende Erkundigungen (z.B. bzgl. Bombenblindgänger, Leitungen, Kanäle)
- sicherheitstechnische Maßnahmen (Überprüfung auf Munition, Kampfmittel, Leitungen; Unfallverhütungsmaßnahmen)
- Arbeitsschutzmaßnahmen
- gezielte Einzeluntersuchungen oder Untersuchungsraster
- Lage/Anzahl der Untersuchungspunkte
- Erkundungstiefe (gleichmäßig, gestaffelt, vereinzelt tiefreichend)
- Geräteeinsatz

das Untersuchungsziel bestimmt das Erkundungskonzept

Historische Erkundung auswerten

Standortbedingungen berücksichtigen

Anforderungen an das Erkundungskonzept

- Probennahmetechnik
- qualitätssichernde Maßnahmen (z.B. Doppelproben, Vorsorge gegen Verschleppung)
- Maßnahmen zur abfallrechtlich geordneten Verwertung oder Entsorgung von Bodenmaterial.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass durch Erkundungsmaßnahmen selbst die Messergebnisse beeinflusst werden können, z.B. durch Verschleppung von Schadstoffen im Bohrloch. Durch entsprechende Vorkehrungen sind derartige Einflüsse unter Beachtung des technischen und wirtschaftlichen Aufwandes auf ein für die erforderliche Aussageschärfe vertretbares Maß zu reduzieren oder durch geeignete Messverfahren abzuschätzen.

Bodenuntersuchungen liefern Stichproben, die erst in ihrer Gesamtheit und im Vergleich untereinander ein mehr oder weniger repräsentatives Abbild der tatsächlichen Standortsituation ergeben.

Im Folgenden werden die Teilschritte zur Aufstellung des Erkundungskonzeptes erläutert.

4.2.2 Tiefe der Erkundungsbohrungen und Beprobungen

Mindesttiefe der Erkundungsbohrungen

Die Untersuchungstiefe ist so zu wählen, dass der verunreinigte Boden vollständig erfasst und abgegrenzt werden kann. Die Mindesttiefe der Erkundungsbohrungen reicht also bis unter

- die aufgrund der Historischen Erkundung vermutete Bodenkontamination
- die anhand von Aufschlüssen organoleptisch erkennbare Bodenkontamination
- stauende Schichten in der ungesättigten Bodenzone (wenn stauende Schichten geologische oder künstliche Fenster aufweisen können sind u.U. tiefere Lagen zu berücksichtigen)
- die maßgebende Grundwasseroberfläche
- die Oberfläche eines Grundwasserstauers.

Es ist jeweils das weitestgehende Kriterium maßgebend. Die Untersuchung soll immer ca. 1 m unter die maßgebende Tiefenlage reichen.

Beprobungstiefe

Bei der Entnahme der zu analysierenden Bodenproben richtet sich die Beprobungstiefe nach dem Wirkungspfad und der Nutzung.

Für die Wirkungspfade Boden→Mensch und Boden→Nutzpflanze werden in Anhang 1 Nr. 2.1 BBodSchV konkrete Angaben zu den Beprobungstiefen gemacht (Tabelle 1). Für den Wirkungspfad Boden→Grundwasser wird in Anhang 1 Nr. 2.1.3 BBodSchV vorgegeben, dass zur Feststellung der vertikalen Schadstoffverteilung die ungesättigte Bodenzone bis unterhalb einer mutmaßlichen Schadstoffanreicherung oder eines auffälligen Bodenkörpers zu beproben ist.

Beprobungstiefe in Abhängigkeit der Nutzungsart wählen

Bei der Festlegung der Nutzungsart ist zu berücksichtigen, dass innerhalb einer Teilfläche u.U. verschiedene Nutzungen sowie künftige Nutzungsänderungen stattfinden. Beispiel: eine Freifläche um eine Reihenhaussiedlung innerhalb eines Grundstücks kann als eine Kinderspielfläche oder als gärtnerische Nutzfläche angelegt werden. Die sensiblere Nutzung ist maßgebend.

Tab. 4: Beprobungstiefen für die Beprobung oberflächennaher Schichten

Wirkungspfad	Nutzung	Erläuterung	Beprobungstiefe
Boden→Mensch ¹	Kinderspielfläche, Wohngebiet	orale und dermale Schadstoffaufnahme	0–10 cm
		max. von Kindern erreichbare Tiefe	10–35 cm
	Park- und Freizeitanlagen; Industrie- und Gewerbegrundstücke unabh. von Nutzung	orale und dermale Schadstoffaufnahme	0–10 cm
		inhalative Aufnahme	0–2 cm
Boden→Nutzpflanze ¹	Ackerbau, Nutzgarten	Bearbeitungshorizont	0–30 cm
		übliche Einflusstiefe	30–60 cm
	Grünland	Hauptwurzelbereich	0–10 cm
		übliche Einflusstiefe	10–30 cm
Boden→Oberflächenwasser ²		Abschwemmung	0–10 cm
Boden→Luft ²		Verwehung (Inhalation)	0–10 cm

¹ BBodSchV, Anhang 1 Nr. 2.1

² Arbeitshilfen Qualitätssicherung (HLUG 2001a, LABO 2002)

Bei einer kombinierten Erkundung nach den Wirkungspfaden Boden→Mensch und Boden→Nutzpflanze (z.B. Außenanlage einer Wohnanlage, die sowohl zu Spielzwecken als auch gärtnerisch genutzt werden kann), muss nicht zwischen den Probennahmetiefen 35 cm oder 30 cm differenziert werden.

Oftmals dient eine Erkundung altlastverdächtiger Flächen nicht nur der Beurteilung der Notwendigkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen, sondern auch der Schaffung von Planungsdaten, z.B. für gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse. Damit treten Vorsorgeaspekte in den Vordergrund. Entsprechend sollten größere Erkundungstiefen (0,5–2 m ab künftigem Geländeniveau) schon im Vorfeld mitberücksichtigt werden. Bei hohen Schadstoffkonzentrationen in einer aktuell nicht bewertungsrelevanten Tiefe können Maßnahmen gegen eine mögliche Exposition in Zukunft notwendig werden (z.B. beim Bau neuer Kanäle). Die Erkundung sollte auch dafür die Grundlagen liefern.

**künftige Nutzung
ggf. berücksichtigen**

4.2.3 Anzahl und Lage der Untersuchungspunkte, Raster

Die Anzahl der Untersuchungspunkte ist bei orientierenden Untersuchungen i.d.R. deutlich geringer als bei Detailuntersuchungen. Im Allgemeinen werden bei orientierenden Untersuchungen vor allem die vermuteten Kontaminationsschwerpunkte beprobt. Rasteruntersuchungen werden im Rahmen von orientierenden Untersuchungen dann durchgeführt, wenn eine homogene Schadstoffverteilung erwartet wird oder die Ausdehnung des verunreinigten Bodenbereiches bzw. eines Deponiekörpers ermittelt werden soll. Bei Detailuntersuchungen sind i.d.R. rasterförmige Untersuchungen sinnvoll, da die verunreinigten Bodenbereiche vollständig erfasst werden sollen.

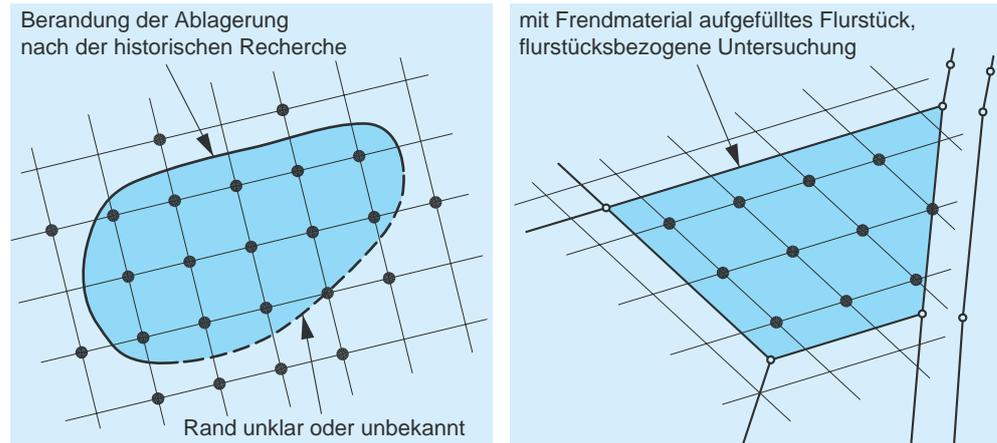


Abb. 13
Beispiele für Rasterformen
und die Lage von Sondier-
punkten bei Altablage-
rungen

Je nach zu erwartender flächenhafter, linienhafter oder punktueller Verbreitung von Bodenbelastungen ist ein Untersuchungs raster oder eine punktförmige Untersuchung erforderlich (erweiterbar über radiales Raster).

rasterförmige Untersuchungen

Auf **Altablagerungen** sind rasterförmige Untersuchungen zur Ermittlung der horizontalen und vertikalen Ausdehnung des Ablagerungskörpers sinnvoll. Das Raster soll an Teilbereiche mit besonderer Untersuchungsrelevanz angepasst werden.

Je nach Erfordernis können quadratische Raster oder Raster in 6-Eck-Form bzw. je nach Grundstückszuschnitt auch schiefwinklige Raster (z.B. Parallelogramm) angelegt werden. In der Praxis haben sich quadratische Raster bewährt, die für einzelne Sondierpunkte auch an Hindernisse (Bebauung, Bewuchs) angepasst werden. Im Rahmen von orientierenden Untersuchungen ist eine Rasterweite von 25–30 % der Kantenlänge der zu untersuchenden Fläche ausreichend. Bei Detailuntersuchungen muss dieses Raster verdichtet werden.

In der Regel ist der Ablagerungskörper sehr heterogen, so dass eine repräsentative Beprobung des Ablagerungskörpers nur selten möglich ist. Andererseits ermöglichen organoleptische Untersuchungen des Deponats dessen Charakterisierung z.B. als Hausmüll, Sondermüll, Bauschutt oder Erdaushub.

Steht der Wirkungspfad Boden→Mensch im Vordergrund, kann auf eine Untersuchung des Ablagerungskörpers evtl. verzichtet werden. Dann ist eine oberflächennahe Beprobung der obersten Bodenschicht (Abdeckung) nach den Vorgaben der BBodSchV ausreichend (Kap. 4.2.2).

Tab. 5: Anzahl der Beprobungspunkte im Bereich von vermuteten Kontaminationsschwerpunkten bei orientierenden Untersuchungen nach HLUg (2001a)

Flächengröße der vermuteten Kontaminationsschwerpunkte	Anzahl der Beprobungspunkte (Orientierungshilfe)
< 100 m ²	2–3
100–500 m ²	2–4
500–1000 m ²	4–6
1000–2000 m ²	6–8

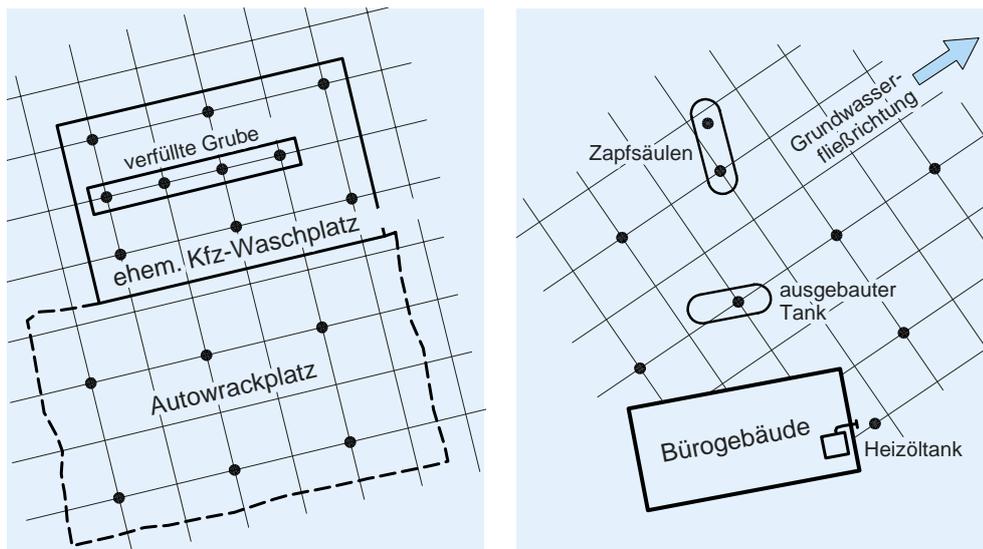


Abb. 14
Beispiele für Rasterformen
und die Lage von Sondier-
punkten bei Altstandorten

Bei der Untersuchung von **Altstandorten** liegen häufig konkrete Informationen aus der Historischen Erkundung vor, insbesondere wenn Leckagen bekannt geworden sind, so dass dann zielgerichtet untersucht werden kann. Hierbei wird vom wahrscheinlichen Schwerpunkt einer Schadstoffbelastung ausgegangen. Dieser zunächst angenommene Schwerpunkt ist erfahrungsgemäß nicht immer mit der tatsächlichen Eintragsstelle identisch.

Abstand und Lage der Sondierpunkte richten sich nach dem zu erwartenden Schadensbild bzw. den baulichen Gegebenheiten. Übliche Rastergrößen liegen bei 15 m x 15 m bis zu 20 m x 20 m außerhalb von bekannten Anlagenteilen. Für orientierende Untersuchungen in Kontaminationsschwerpunkten sind abhängig von der Flächengröße als Orientierungshilfe 2–8 Beprobungspunkte für Flächen von ca. 100 m² bis 2 000 m² anzusetzen (HLUG 2001a, LABO 2002).

Bei Verdacht auf Bodenverunreinigungen durch flüssige Stoffe ist es in der Regel nicht möglich, Eintragsstellen im ersten Schritt zu lokalisieren. Hier ist eine Eingrenzung der vermuteten Eintragsstellen über Sekundärverunreinigungen mit Hilfe von Bodenluftuntersuchungen oder Grundwasserbeprobungen (Schadstofffahne) möglich.

Um eine Eingrenzung einer Kontamination vornehmen zu können, müssen auch unbelastete bzw. angrenzende Böden sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen mit erkundet und beprobt werden.

Für linienhafte Objekte (z.B. Linienbauwerke, Bachläufe) wird ein Untersuchungsabstand von mindestens 25–30 % der Länge des Untersuchungsabschnitts empfohlen.

In Einzelfällen kann es sinnvoll sein, das Untersuchungs raster nach der wahrscheinlichen Ausbreitungsrichtung von Kontaminanten auszurichten, z.B. bei staubförmigen Emissionen anhand der Hauptwindrichtung oder bei Ausbildung von Leichtphasen nach der Grundwasserfließrichtung. Rasterformen und Anwendungsbeispiele sind in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt.

**verdachtsflächen-
orientierte
Untersuchungen**

Tab. 6: Anzahl der Beprobungspunkte (= Beprobungsteilflächen) für die oberflächennahe Beprobung für Flächen mit homogener Schadstoffverteilung bei orientierenden Untersuchungen nach HLUG (2001a)

Flächengröße	Kinderspielflächen, Wohngebiete	Park- und Freizeitanlagen, Gewerbegebiete
< 500 m ²	3	2
500–10 000 m ²	3–10	2–5
> 10 000 m ²	10–40	5–10

angepasstes Untersuchungs raster

Häufig sind Mischformen von Altstandorten und Ablagerungen zu untersuchen. In diesen Fällen ist es sinnvoll, ein Untersuchungs raster zu wählen und so anzuordnen, dass sich durch Verschieben des Rasters einzelne Knotenpunkte und punktuelle Verdachtsmomente überdecken. Ebenso ist die Anpassung durch Verschieben einzelner Knotenpunkte aus dem Raster sinnvoll (angepasstes Raster, Abbildung 12).

Mischprobe bei homogener, oberflächennaher Schadstoffverteilung

Einen Sonderfall stellen **Böden mit homogener, oberflächennaher Schadstoffverteilung** dar. Schädliche Bodenveränderungen dieser Art treten im Altlastenbereich selten auf. Werden auf diesen Flächen Untersuchungen gemäß BBodSchV für die Wirkungspfade Boden→Mensch oder Boden→Nutzpflanze durchgeführt, erfolgt die Beprobung einer Fläche durch Entnahme von Mischproben in Beprobungsteilflächen, wobei **je Mischprobe 15–25 Einzelproben** entnommen werden. Die Einzelproben können dabei rasterförmig entnommen werden. Die Vorgaben der BBodSchV, Anhang 1, Nr. 2.1 sind zu beachten.

Analog kann auch bei der Beurteilung der Wirkungspfade Boden→Oberflächenwasser (Abschwemmung) und Boden→Luft (Verwehung) vorgegangen werden.

Es empfiehlt sich, dann tiefengestaffelte Beprobungen vorzunehmen, so dass sowohl den Anforderungen der BBodSchV als auch den weitergehenden Fragstellungen nachgegangen werden kann. So kann bei horizontalen Mischproben z.B. jede 3., 5. oder 10. Probennahme der 15–25 „Einstiche“ als Rammkernsondierung ausgeführt werden, so dass in einem größeren Raster auch Proben aus tieferen Bodenschichten untersucht werden können.

Einmessen der Sondierpunkte

Alle Sondierpunkte sind lage- und höhenmäßig auf ein nachvollziehbares Bezugssystem einzumessen. Hierbei sind für die Lageeinmessung feste, nachvollziehbare Bezugspunkte eines Grundstückes zu wählen und zu dokumentieren. Die Einmessung ist mit dem Raumbezugssystem ETRS89/UTM durchzuführen, wobei die Genauigkeit der Lageeinmessung bei <0,5 m liegen soll. Höhenmessungen sind auf Normal-Null (NN) zu beziehen.

Neben der Einmessung der Sondierpunkte ist u.U. auch die höhenmäßige Erfassung einzelner Bauobjekte sinnvoll, um für Ursachenforschungen oder Plausibilitätsprüfungen Vergleiche zwischen potenziellen Schadstoffeintragsstellen und Messwerten herstellen zu können (Messung auf m ü. NN), z.B.:

- Sohltiefe von Schächten, Kanälen, Gruben oder sonstigen Behältnissen
- Oberkante des Kellerfußbodens von Gebäuden.

4.2.4 Geräteeinsatz

Grundsätzlich sind Aufschlussverfahren so zu wählen, dass eine möglichst hohe Repräsentanz und Reproduzierbarkeit von Messergebnissen erzielt werden kann. Eine repräsentative Probennahme orientiert sich in der Regel am Größtkorn, wenn vorgesehen ist, das gesamte Korngefüge repräsentativ zu erfassen. Weiterhin können bei umfangreichen Analysen erhöhte Probenmengen erforderlich sein. Entsprechend sind für Rammkernsondier- und Bohrgeräte die erforderlichen Mindestdurchmesser auszuwählen. Für die Ermittlung des geeigneten Bohrdurchmessers in Abhängigkeit von der erforderlichen Mindestprobenmenge ist eine Mischprobennahme, im Mittel über 1 m Kernlänge, zugrunde zu legen.

Der Geräteeinsatz wird nach DIN EN ISO 22475-1 dokumentiert. In den häufig verkürzten Kopfblättern (DIN 4022-1) zu den Schichtenverzeichnissen sind in jedem Fall auch die Innendurchmesser der Bohrwerkzeuge anzugeben. Zusätzlich ist zu den Schraubverbindungen der Rohrschüsse anzugeben, ob diese gefettet oder ungefettet waren und welche Fette ggf. eingesetzt wurden.

Für die in der Altlastenerkundung häufig eingesetzten Rammkernsondierungen sollen folgende Informationen dokumentiert werden:

- ausführende Firma
- eingesetztes Gerät (z.B. Sondiergerät mit Verbrennungsmotor)
- Aufschlussmethode (drehend, rammend)
- Innendurchmesser von Bohrungen und Sondierungen

Auch die Vorbohrtechnik in Oberflächenbefestigungen ist anzugeben. Bei einem Einsatz von Geräten mit Wasserspülung zum Aufbrechen von Oberflächenbefestigungen ist darauf zu achten, dass keine Verschleppung von Schadstoffen über das Spülwasser in den Untergrund erfolgt. Beispielsweise kann bei Bohrungen durch teerhaltige Oberflächenbefestigungen der Eintritt von Spülwasser in den Boden, angereichert mit fein zermahlenem Bohrgut, zu einer erheblichen Schadstoffverschleppung von Teer-inhaltsstoffen führen.

Erkundungsgeräte, die eine starke Vermischung von aufzuschließendem Boden über die Tiefe verursachen, beispielsweise Spiralsondierungen und Spiralbohrungen mit kleinem Durchmesser oder Spülbohrungen, sind nicht zulässig. Schlitzsondierungen sollen aufgrund der Umlagerungseffekte beim Eintreiben an der Sondierspitze, der Verdrängungseffekte, der Verschleppung von Kontaminationen und wegen des ungünstigen Verhältnisses von Probenvolumen/Oberfläche nicht eingesetzt werden (ITVA 1995).

4.3 Aufschlussarten

4.3.1 Sondierungen

Zu unterscheiden ist zwischen direkten und indirekten Erkundungsmethoden. Bei direkten Erkundungsmethoden werden Proben aus dem Untergrund gewonnen, die für eine qualitative und quantitative Untersuchung zur Verfügung stehen. Indirekte Methoden bedienen sich physikalischer Messverfahren im Bohrloch, die in der Regel an exemplarischen Proben geeicht werden müssen. In der Regel erfolgt die Untersuchung mit Hilfe direkter Methoden.

Bohrdurchmesser

Dokumentation

**unzulässige
Bohrverfahren**

**direkte und indirekte
Methoden**

**Rammkern-
sondierungen**

In der Praxis hat sich als **direkte Methode** der Einsatz von Rammkernsondierungen mit maschinellem Antrieb durchgesetzt. Ein Vorteil von Rammkernsondierungen besteht darin, dass sie anschließend für temporäre Bodenluftuntersuchungen genutzt (vgl. Kap. 5.3) und als Grundwasserkleinmessstelle (vgl. Kap. 3.3) ausgebaut werden können. Weitere Vorteile sind die flexible Einsatzmöglichkeit bei beengten Verhältnissen, die hohe Mobilität und der im Vergleich zu Kernbohrungen geringere Zeit- und Kostenaufwand.

**gängige
Durchmesser**

Gängige Durchmesser reichen von 36 mm bis 80 mm. Die Rammkernsonden besitzen ein seitlich offenes Entnahmerohr, welches mit Motor- oder Elektrohammer eingetrieben wird. Die Rohrschüsse betragen 1,0/1,5/2,0 m. Die Probenmenge reicht von ca. 0,5 l (Ø 36 mm) bis ca. 4 l (Ø 80 mm) je 1 m Kernlänge. Für eine repräsentative Probennahme sind Sondierungen Ø 50 mm einzusetzen. Rammkernsondierungen Ø 36 mm sind in begründeten Fällen geeignet, z.B. bei feinkörnigen Böden nach DIN 18196 und geringem Analysenumfang.

maximale Bohrtiefe

Die maximale Bohrtiefe für Rammkernsonden beträgt für sondierfähige Lockergesteine ca. 6–8 m. Rammkernbohrgeräte mit höherer Schlagkraft (auf Bohrlafette) erreichen Erkundungstiefen über 10 m. Ablagerungen mit grobstückigem Bauschutt, natürlich anstehende Böden mit kiesig-steinigen Einlagerungen (z.B. Gerölle in Hangschutt oder Flusssedimenten) sowie tonig gebundene Kiessande mit einer weitgestreckten Körnungslinie in dichter Lagerung können die Erkundungstiefe ganz erheblich begrenzen.

Nachteile

Ein Nachteil bei Sondierbohrungen kann Kernverlust sein, der insbesondere in locker gelagerten Auffüllungen oder bei Sondierungen unter der Grundwasseroberfläche in sandig-kiesigen Böden auftreten kann. Nachteilig wirkt sich auch Nachfall aus, da dadurch die obersten Teile des Bohrkerns verfälscht werden. Weiterhin sind Stauungen in locker gelagerten Böden möglich, bei denen zwar ein vollständiger Kerngewinn erreicht wird, aber eine wirklichkeitstgetreue Erfassung von Schichtmächtigkeiten erschwert ist. Obwohl bei lockeren Auffüllungen in der Regel Stauchungseffekte auftreten, kann eine sachgerechte Profilaufnahme und Interpretation dennoch brauchbare Ergebnisse liefern.

**geeignet bei
bindigen Böden**

Bindige Böden werden häufig in praktisch ungestörtem Zustand erbohrt („ungestört“ in Bezug auf umweltrelevante Fragestellungen). Bodenverfärbungen, Strukturveränderungen und Schichtgrenzen lassen sich mit guter Reproduzierbarkeit ermitteln. Mit zunehmender Korngröße finden beim Eintreiben an der Sondenöffnung Umlagerungs- und Verdrängungseffekte statt, die die Repräsentativität des Bohrgutes reduzieren. Dies muss nicht notwendigerweise zum Ausschluss des Erkundungsverfahrens führen. Es ist jedoch erforderlich, dass Hinweise auf Veränderungen der Bodenstruktur beim Sondieren aufgezeichnet, dokumentiert und interpretiert werden.

**Drucksondier-
technik**

Indirekte Erkundungsmethoden im Bohrloch bauen auf der bewährten Drucksondierertechnik auf. Hier werden Sonden eingesetzt, die die qualitative oder halbquantitative Ermittlung von Schadstoffen über die Tiefe ermöglichen (siehe auch Kap. 3.3.5, direct push-Verfahren). Dies erfolgt beispielsweise bei Mineralölen mit Aromatenanteilen (PAK, BTEX) durch künstliche Anregung und Messung der Fluoreszenz mittels elektrooptischer Verfahren.

**bei bekanntem
Schadstoffinventar**

Da diese Verfahren in der Regel auf spezielle Anwendungsgebiete beschränkt sind, kommen sie nur für Verdachtsflächen mit bekanntem Schadstoffinventar in Frage.

Gerade bei Verdacht auf Mineralölschäden mit Aromatenanteilen stellen diese Methoden eine technische und wirtschaftliche Alternative im Rahmen der Erkundung dar.

In der Regel wird eine Kombination aus direkten und indirekten Erkundungsmethoden brauchbare Ergebnisse liefern, wobei stets die direkten Methoden zur Eichung und Kontrolle herangezogen werden müssen.

4.3.2 Großkalibrige Bohrungen

Mit großkalibrigen Bohrungen sind im Gegensatz zu Rammkernsondierungen bei Einsatz geeigneter Verfahren ausreichende Probenmengen und die erforderlichen Erkundungstiefen erreichbar.

Zu unterscheiden ist zwischen Bohrungen im Lockergestein und im Fels. Während im Lockergestein Trockenbohrungen ohne Spülhilfen eingesetzt werden sollten, sind Spülhilfen beim Bohren im Fels technisch unvermeidbar. Im Kap. 3.3.4 werden die Bohrverfahren detailliert beschrieben.

Für die Auswahl des geeigneten Bohrverfahrens lassen sich keine allgemein gültigen Regeln aufstellen. Hinweise zur Auswahl gibt DIN ISO 10381-2. Bei unterschiedlich aufgebautem Untergrund werden Schichten verschiedener Eigenschaften durchteuft, so dass nicht für jede Schicht gleichzeitig das optimale Bohrverfahren eingesetzt werden kann. Hier sind für die jeweilige Fragestellung angepasste Bohrverfahren auszuwählen. Die Eignung des Bohrverfahrens bei Lockergestein ergibt sich in der Regel aus der Bodenart (rollig, bindig, gemischtkörnig), dem Größtkorn und der Lage zum Grundwasser (oberhalb und/oder im Grundwasser). Rammkernbohrungen, insbesondere aber Drehbohrverfahren, können zu einer Erhitzung des Probenmaterials an der Oberfläche der Kerne führen, so dass flüchtige Stoffe noch vor der Proben Gewinnung entweichen können.

Für Bohrungen im Fels sind in der Regel Rotationsbohrverfahren mit Einsatz eines Doppelkernrohrs oder Seilkernrohrs geeignet. Hierdurch werden vollständige Felskerne gewonnen. Das Bohrklein wird mittels Spülhilfe zutage gefördert. Durch diesen ständigen Kontakt der Spülung mit dem Bohrkern können Schadstoffe an der Oberfläche der Kerne ausgewaschen werden. Dennoch werden bei ausreichendem Kerndurchmesser brauchbare Ergebnisse erzielt.

Mittels geeigneter Bohrverfahren können auch Bohrungen in Ablagerungen mit grobstückigen Bauschuttresten durchgeführt werden. Hierzu werden in der Regel auswechselbare Meißel eingesetzt.

Aus wirtschaftlichen Gründen werden Erkundungsbohrungen mit eher geringem Bohrlochdurchmesser gewählt. Der Durchmesser ist größer zu wählen, wenn ein Messstellenausbau nachfolgt (vgl. Kap. 3.3).

Großkalibrige Bohrungen sind handwerkliche Tätigkeiten, die gerade für Aufschlüsse auf Ablagerungen und Altstandorten hohe Anforderungen an das Bedienungspersonal stellen. Daher sollte die Auswahl von Bohrfirmen nicht nur nach wirtschaftlichen Kriterien, sondern auch nach Qualitätsmerkmalen erfolgen. Erfahrungsgemäß erfordern Kernbohrungen insbesondere zur Überwachung der fachgerechten Probenahme im Vergleich zu Rammkernsondierungen einen höheren Betreuungsaufwand durch den verantwortlichen Projektingenieur.

Trocken- oder Spülbohrung

das angepasste Bohrverfahren auswählen

Bohrungen im Fels

Qualitätssicherung

4.3.3 Handbohrungen

Lage von Leitungen/ Tanks nicht bekannt

Handbohrungen können z.B. dann sinnvoll sein, wenn die Lage empfindlicher unterirdischer Einrichtungen wie Tanks oder Leitungen nicht hinreichend genau bekannt ist, Bohrpunkte mit umfangreicher Ausrüstung schwer erreichbar sind oder der Untergrund als Widerlager für das Ziehen der Bohrwerkzeuge zu weich ist. Es stehen verschiedene Bohrertypen, die drehend niedergebracht werden, für verschiedene Bodenarten zur Verfügung. Hierdurch können schwach gestörte tiefentreue Proben gewonnen werden. Die Verwendung von Spiralbohrern sollte vermieden werden, weil diese zu einer Durchmischung und Verfälschung des Probenmaterials und des Profils führen. Die gängigen Durchmesser liegen bei 45 bis 100 mm. Es stehen auch Verrohrungen zur Verfügung, so dass Handbohrungen auch in nicht standfesten Böden und unter Wasser eingesetzt werden können.

Auffüllungen aus grobem Material können gut mit Greiferbohrungen durchteuft werden, weil durch die möglichen großen Durchmesser auch grobe Bestandteile gefördert werden können.

4.3.4 Schürfe und oberflächennahe Beprobung

Schürfe können als Hand- oder Baggerschürfe ausgeführt werden.

Handschürfe

Zur Entnahme von oberflächennahen Proben können Handschürfe mittels Spaten, Schaufel, Stechzylinder oder Kelle bis in wenige Dezimeter Tiefe durchgeführt werden. Für die nach BBodSchV zu gewinnenden oberflächennahen Mischproben aus Einzelproben bis 35 cm Tiefe eignen sich diese Geräte gleichfalls. Bei größeren Tiefen sind Rammkernsondierungen i.d.R. wirtschaftlicher.

Baggerschürfe

In speziellen Fällen sind Baggerschürfe notwendig, wenn Schichten mit Geröllen, Blöcken oder Findlingen durchsetzt sind oder sperriger Bauschutt und Müll Sondierungen unmöglich machen oder Bohrungen keine ausreichende Erkenntnis über die Zusammensetzung liefern. Sie ermöglichen weiterhin einen sichtbaren Einblick in den Aufbau und die Zusammensetzung des Untergrundes, insbesondere in Altablagerungen. Aus Schürfen können weitgehend repräsentative Materialproben in ausreichender Menge als Einzel- und Mischproben entnommen werden. Weiterhin ist die direkte Entnahme von Sickerwasserproben möglich. Begehbare Schürfe sind nach DIN 4124 auszubilden. Bei Schürfungen neben Gebäuden ist DIN 4123 zu beachten. Schürfe sollen nicht tiefer als bis zur Grundwasseroberfläche reichen. In begehbaren Schürfen erfolgt die Probennahme unter Beachtung der erforderlichen Unfallverhütungs- und Arbeitsschutzmaßnahmen aus der Stirnfläche des Schurfs, in nicht begehbaren Schürfen aus einem definierten, weitgehend ungestörten Bereich der Baggerschaufel. Muss das Material aus der Schaufel zuvor abgekippt werden, ist die Probe nach Abtragen der oberen Schicht, die mit der Schaufel in Berührung war, zu entnehmen. Die Schurfaufnahme soll in Anlehnung an DIN 4023, Bild 1, unter Einbeziehung altlastenrelevanter Merkmale (z.B. auffällige Stoffe, organoleptische Auffälligkeiten) erfolgen.

Probennahme aus Schürfen

Wiedereinbau oder Entsorgung

Bei Schürfen ist zu beachten, dass der Wiedereinbau des ausgekofferten Materials je nach Beschaffenheit und Schadstoffbelastung mit der zuständigen Behörde geklärt werden muss. Andernfalls ist eine geordnete Entsorgung vorzunehmen.

4.4 Probennahme und Ansprache

4.4.1 Ansprache

Allgemeines

Die Bodenmatrix liegt je nach Betrachtungsmaßstab im makroskopischen Bereich eher als quasi-homogene und im mikroskopischen Bereich eher als inhomogene Stoffmatrix vor. Bodeneigenschaften können sich in der Horizontalen und Vertikalen allmählich (z.B. Wassergehalt) oder abrupt (Schichtenwechsel, Störungen, Verwerfung) ändern. Zur hinreichenden Beurteilung von Schadstoffen im Boden und deren Wechselwirkungen mit anderen Komponenten hat es sich als sinnvoll herausgestellt, Böden sowohl naturwissenschaftlich (mineralogische Zusammensetzung, Genese) als auch ingenieurtechnisch zu beschreiben. Bei der Bodenansprache finden insbesondere geologische und bodenmechanische Regeln Anwendung. Da viele Sanierungstechniken auf bautechnologischen Verfahren basieren, ist die richtige bodenmechanische Beschreibung eine wichtige Voraussetzung für deren zielgerichtete Auswahl und Planung.

gute Bodenansprache ist wichtig

Grundsätzlich stellt der Vorgang der Ansprache einen Messvorgang dar, bei dem alle erhältlichen Felddaten wertfrei festzuhalten sind. Auch Daten, die zunächst widersprüchlich erscheinen oder Hinweise auf mögliche oder offensichtliche Einflüsse aus der angewendeten Aufschluss technik geben, sind Messergebnisse und als solche zu notieren. Ebenso sollten Hinweise auf nicht sicher erkannte Bestandteile (z.B. Materialart) in das Messprotokoll aufgenommen werden.

alle Daten wertfrei protokollieren

Interpretationen und Beurteilungen der so erhaltenen Daten sind erst nach vollständiger Erfassung aller Felddaten einer Untersuchungskampagne zulässig. Beispielsweise ist das Auftreten von Kernverlust bei Rammkernsondierungen in lockeren Böden eine manchmal nicht vermeidbare Begleiterscheinung. Eine Lücke im Tiefenprofil ist daher als solche zu dokumentieren. Gleichzeitig kann ein Kernverlust so auch ein Hinweis auf bestimmte Untergrundverhältnisse sein, wie z.B. rieseltrockener Sand oder rolliger Boden im Grundwasserbereich. Erst bei der Auswertung der Daten kann interpretiert werden, ob es sich z.B. um Materialverlust aus ein und derselben Schicht handelt, oder ob ein Schichtwechsel im Bereich der Lücke zu vermuten ist.

die Interpretation erfolgt erst im zweiten Schritt

Die einzig zulässige Ausnahme einer bereits im Feld vorzunehmenden Interpretation ist die Einstufung eines natürlichen Bodens als natürlich anstehend oder aufgefüllt. Auffüllungen aus Fremdmaterial bedürfen per Definition keiner Interpretation.

Hinweise zu möglichen Fehlinterpretationen in Bohrungen gibt DIN ISO 10381-1 in Abs. 13. Diese Hinweise gelten analog auch für Rammkernsondierungen (Nichterfassen dünner Schichten, von vertikal begrenzten geologischen Formationen oder von räumlich begrenzten unterirdischen Einbauten und Ablagerungen; falsche Korrelation von Schichtzugehörigkeiten; fehlerhafte Interpretation einer Felsoberzone durch Gesteinsbrocken im Lockergestein).

mögliche Fehlinterpretation

Bodenarten, Fremdstoffe

Sowohl auf Altablagerungen als auch auf Altstandorten werden an der Oberfläche häufig sehr heterogene Ablagerungen angetroffen, z.B. Bauschutt-Anteile in Böden. In Anlehnung an DIN 18196 sollte unterschieden werden zwischen:

Bodenarten und Fremdstoffe

Natürlich anstehender Boden	anthropogen nicht beeinflusster Boden.
Aufgefüllter Boden	Auffüllung aus Bodenmaterial, das möglicherweise mit bodenfremden Stoffen vermischt wurde, z.B.: Terrassenkiese mit Schlackenanteil, Böden aus Gebieten mit erhöhter Hintergrundbelastung.
Auffüllung aus Fremdstoffen	künstlich hergestellte oder anthropogen stark veränderte Stoffe (z.B. Bauschutt, Schotter, Hausmüll, Klärschlamm, Schlacke).
Schadstoff	sichtbar erkennbar als Verunreinigung, teilweise „pur“ vorliegend, z.B. Teerölphase im Boden, Grubenverfüllung mit Lackabfällen, Fettlinsen.

Sonderformen

Als Sonderformen sind zu nennen:

- künstlich hergestellte oder bearbeitete organische Oberböden (Mutterboden, Ackerboden)
- Oberflächenbefestigungen wie Asphalt, Beton, Verbundsteinpflaster u.ä.
- unterirdische Einbauten (z.B. Schächte, Becken, Fundamente).

Die oben genannten Stoffgruppen können kombiniert auftreten, so dass eine Stoffgruppe sowohl als Hauptbestandteil als auch als Beimengung auftreten kann. Lediglich das gemeinsame Auftreten von natürlich anstehenden Böden mit Auffüllungen in einer Schicht ist definitionsgemäß nicht möglich.

Richtlinien für Beschreibung

Als Instrumentarium für die Beschreibung von natürlich anstehenden und aufgefüllten Böden hat sich in der Verdachtsflächenerkundung die Bodenansprache nach DIN 4022 bzw. DIN EN ISO 14688-1 bewährt. Die Klassifikation nach DIN 18196 (Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke) ist ein weiteres Hilfsmittel zur übersichtlichen Beschreibung, z.B. in Bodenprofilen nach DIN 4023.

Eine Sanierung des Mediums Boden erfolgt immer auch mit Mitteln der Bautechnik. Die bautechnische Beschreibung und Einstufung von Böden nach DIN 18196 ist daher im Rahmen der Untersuchungen als eine erste Einstufung für eine sanierungstechnische Beurteilung anzusehen. Die Kurzsymbole mit der Differenzierung in natürlich anstehende Lockerböden und aufgefüllte Lockerböden (Symbol in eckiger Klammer) stellen eine einfache und übersichtliche Form der Dokumentation dar, vgl. auch DIN 18196. Zur Erfassung der übrigen Stoffgruppen werden nachfolgende Regelungen vorgeschlagen.

Die Ansprache und Beschreibung erfolgt nach DIN 4022 bzw. DIN EN ISO 14688-1 mit zusätzlichen Einträgen in das Schichtenverzeichnis für die ggf. vorhandenen Beimengungen und Fremdstoffe.

genaue Beschreibung der Auffüllung

Bei **Auffüllungen aus Fremdstoffen** sind alle umweltrelevanten Beschreibungen erforderlich, die in der Summe eine Einstufung als Auffüllung nachvollziehbar machen. In der Regel reichen verallgemeinernde Klassifizierungen wie „Bauschutt“ oder „Müll“ nicht aus. Vielmehr sind identifizierbare Einzelbestandteile zu benennen, z.B. mineralische Bausubstanz aus Beton, Mauerwerksteinen und nichtmineralischer Bauschutt wie Dachpappe, Asphalt, Bauholz u.a. (SCHULZ 1994).

Für müllähnliche Stoffe sind erkennbare Einzelbestandteile differenziert zu benennen. Stoffe, die vermutet, d.h. nicht sicher identifiziert werden können, sollten als sol-

Tab. 7: Beispiel für die Ansprache einer Auffüllung im Formblatt Anhang B der DIN 4022

1	2			3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen ¹⁾				Art	Nr.	Tiefe in m Unter- kante
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe				
2,20	a) <i>Bauschutt</i> (= 40 %); Ziegel, Beton, Asphalt Müll (= 20 %): Glas, Plastik, schwarze klebrige Masse (nicht identifizierbar)			kein Geruch / erdig			
	b) <i>Boden</i> (~40 %): U, t, s'						
	c) <i>Boden: weich bis steif</i>	d)	e) <i>bunt, schwarz</i>				
	f) <i>Auffüllung</i>	g)	h) [TL], A				
3,70	a) Müll (~ 80 %): Glas, Nägel, Bauholzreste z.T. durchsetzt mit Ziegel + Beton (2,5 - 2,8 m); sandig, schwach kiesig (Flußkies ?)			Geruch stechend, Lösemittel (?)			
	b) 1 <i>Kondensator</i> (?)						
	c) Müll: verbacken	d)	e) <i>dunkelgrau</i>				
	f) <i>Auffüllung</i>	g)	h) A				
¹⁾ Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor							

che z.B. mit „?“ gekennzeichnet werden. Zersetzungsgrad und anthropogene Vorbehandlung (z.B. „lackiertes Holz“ statt „Holzreste“) sind weitere wichtige Bestandteile einer fachgerechten Ansprache, vergleiche auch Tabelle 7.

Hinweise auf das Mindestalter einer Altablagerung können u.U. aus aufgefundenen, alten, gewerblich und zeitlich zuzuordnenden Produkten bis hin zu direkten Produkt-Herstellungsdaten (z.B. Etiketten von Behältnissen) abgeleitet werden.

Die Ansprache der einzelnen Bestandteile in Auffüllungen sollte abweichend von DIN 4022, Teil 1 nach Volumenanteilen mit Schätzungen zur prozentualen Verteilung erfolgen. Bodenbeimengungen können in Kurzform analog DIN 4022, Teil 1, Kapitel 6.2 angegeben werden.

Beispiel: Sand, schwach schluffig,
ca. 15 % Bauschutt (ca. 10 % Beton- und Asphaltbruch und 5 % Bauholz).

Wegen der abfallrechtlichen Einstufung entweder als Boden oder als Bauschutt im Sinne der Technischen Regeln der (LAGA 1998) und damit zusammenhängender evtl. unterschiedlicher Entsorgung sollte der Feststellung > 10 % oder < 10 % besonderes Augenmerk geschenkt werden.

Bei Auftreten von mineralischen Fremdstoffen im Boden, z.B. Bauschutt, deren Korngrößen stark von denen der Bodenmatrix abweichen können, ist neben der Hauptbodenart auch die Korngröße der Fremdbeimengung zu registrieren.

Beispiel: Schluff, sandig, ca. 15 Vol.-% Schlacke (in Kies Korngröße).

Auch bei gleicher Korngröße wie die der Hauptbodenart ist eine Angabe dazu wertvoll, z.B.: Kies, sandig, ca. 5 Vol.-% Asphaltstücke (in Kies Korngröße).

Zur Ansprache eines Bodens als „aufgefüllt“ dienen in der Regel Indizien wie ortsfremde Mineralstoffe, anthropogene Bestandteile oder Veränderungen der Bodenstruktur und -textur. Zur Bodenansprache aufgefüllter Böden gehört also immer die schichtweise vollständige Beschreibung der erkannten Fremdbestandteile. Die Ansprache erfolgt einheitlich nach DIN 4022 bzw. DIN EN ISO 14688-1.

Anteil der Bodenbeimengungen

Korngröße der Beimengung angeben

Hinweise auf aufgefüllte Böden

Liegen Hinweise auf den Auffüllcharakter allein aus einer veränderten Bodenstruktur oder einer Vorkenntnis vor, so sind diese im Schichtenverzeichnis ebenfalls zu vermerken, z.B. „Bodenstruktur gestört“ oder „vermutlich aufgefüllt, da im Arbeitsraum um einen Keller“. Bestehen Zweifel am Auffüllcharakter soll dies ebenfalls vermerkt werden, z.B. „aufgefüllter Boden?“

Das Vorhandensein von Schadstoffen im Boden, z.B. organoleptisch feststellbares Mineralöl, ist kein Indiz für aufgefüllten Boden.

natürlich anstehende Böden

Natürlich anstehende Böden sollen vollständig nach DIN 4022 bzw. DIN EN ISO 14688-1 angesprochen und im Schichtenverzeichnis sowie zeichnerisch nach DIN 4023 dokumentiert werden. Bereits im Feld ist eine Prüfung umweltrelevanter Bodenstrukturen vorzunehmen. So sollten beispielsweise potenzielle Leit- und Sperrhorizonte innerhalb geologischer Schichten (z.B. bevorzugte Fließwege für horizontale Schadstoffausbreitung) geprüft und beschrieben werden. Gegebenenfalls sind Schichten entsprechend zu untergliedern.

Schadstoffe

Im Feld können Schadstoffe visuell anhand der Farbe und, soweit aus Sicht des Arbeitsschutzes (Kap. 1.5) vertretbar, anhand des Geruchs sowie messtechnisch halbquantitativ mittels tragbarer Messgeräte erkannt werden (vgl. Kap. 4.4.3).

organoleptische Ansprache

Die organoleptische Überprüfung soll immer mit einer visuellen Prüfung an der Oberfläche (z.B. Ölflecken, Müllreste) beginnen. Auch können Veränderungen des Bewuchses erste Hinweise auf Bodenveränderungen oder Schadstoffeinflüsse geben.

Auffälligkeiten können sowohl bei natürlich anstehendem Boden als auch bei aufgefülltem Boden und Auffüllungen aus Fremdstoffen auftreten. Die organoleptische Überprüfung ist ein wichtiges **Auswahlkriterium für das chemische Analysenprogramm** und kann als ein Prüfkriterium in der Plausibilitätsprüfung von Analyseergebnissen dienen, z.B. zur Aufdeckung von Zufallsergebnissen oder Probenverwechslungen.

Bei der visuellen Bodenansprache ist neben der Farbansprache vor allem auch eine Farbveränderung gegenüber unbeeinflusstem Boden zu prüfen. Die alleinige Feststellung einer Farbe, ohne den Unterschied zum natürlichen Zustand festzuhalten, ist oft wertlos. Weiterhin sollten Strukturveränderungen im Korngerüst, Schlieren oder Öltröpfchen im Porenwasser oder andere Auffälligkeiten protokolliert werden. Dazu gehören auch geruchliche Auffälligkeiten, soweit sie wahrgenommen werden (vgl. Kap. 1.5).

Dokumentation der organoleptischen Ansprache

Die Dokumentation der organoleptischen Ansprache soll immer angemessen für die jeweilige Fragestellung sein (z.B. Untersuchungsziel „Benzin im Boden?“) und durchgängig über die gesamte Aufschlusstiefe erfolgen. Diese Vorgehensweise ist insbesondere bei Verdacht auf Mineralölverunreinigungen von Vorteil, siehe Beispiel in Tabelle 8. Eine allein auf entnommene Proben bezogene Ansprache gibt kein repräsentatives Bild, da Proben bereits eine Auswahl aus dem Aufschlussprofil darstellen. Die Information „Geruch unauffällig“ kann fallweise ebenso wertvoll sein wie ein Hinweis auf geruchliche Auffälligkeit.

Ansprache der Sonderformen

Sonderformen und deren Ansprache:

- Oberflächenbefestigungen: es sollten einheitliche Begriffe Verwendung finden, die nicht bereits eine bestimmte chemische Zusammensetzung suggerieren, z.B. „Schwarzdecke“ statt „Asphalt“ oder „Teer“ (Teer weist im Gegensatz zu Asphalt

Tab. 8: Beispiel einer organoleptischen Ansprache im Formblatt Anhang B der DIN 4022

		S c h i c h t e n v e r z e i c h n i s			Anlage:				
		für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben			Bericht:				
					AZ:				
Bauvorhaben:									
Bohrung					Datum: 20.12.2001				
Nr.: RKS 3 / Blatt 1									
1	2			3			4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust			Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen ¹⁾						Art	Nr.	Tiefe in m Unter-kante
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe						
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe				i) Kalk-gehalt		
3,00	a) Sand, kiesig, schluffig			kein Geruch					
	b) 1.0 - 1.2 m Kernverlust								
	c) trocken	d)	e) braun						
	f) aufgef. Boden	g)	h) ¹⁾ [SU]						
3,60	a) Sand, kiesig, schluffig			aromatisch					
	b) mit schwarzen Schlieren								
	c)	d)	e) braun						
	f)	g)	h) ¹⁾ [SU]						
4,20	a) Ton, schluffig, schwach feinsandig			aromatisch, in KST-Lagen ölig-schwarz					
	b) dünne, verwitterte KST-Lagen (wenige cm) wasserführend								
	c)	d)	e) olivgrün						
	f) Frankfurter Ton	g) Tertiär	h) TA						

¹⁾ Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor

sehr hohe PAK-Gehalte auf). Eine organoleptische Ansprache kann fallweise den Kontext von Einzeluntersuchungen verdeutlichen, z.B. „Verbundsteinpflaster mit Ölflecken“ oder „rissige Betonwanne“ statt „Beton“.

- organische Bodenarten und Anteile nach DIN 4022 Teil 1
- aufgefüllte organische Bodenarten und Anteile analog DIN 18196 Nr. 3.6 und DIN 4022 Teil 1.

Die Tiefenangaben von Schichten erfolgen nach DIN 4022 jeweils für die Schichtunterkanten. Schichten sind sowohl als stoffspezifische, genetisch (geologisch) und bodenmechanisch bzw. bodenkundlich verschiedene bzw. zu unterscheidende Parteien des Untergrundes anzusehen. Neben der geologischen Ansprache und Unterteilung werden Böden immer auch bodenmechanisch nach DIN 4022, Teil 1 bis 3 angesprochen und in Schichten eingeteilt. Die Ansprache von Auffüllungen und aufgefüllten Böden erfolgt sinngemäß.

In Auffüllungen ist die Schichteinteilung schwierig. In der Regel werden bodenmechanisch oder sichtbar (Struktur, Farbe, Stoffart) gleichartige Auffüll-Bestandteile als zusammenhängende Teilbereiche analog Schichten beschrieben. Daneben ist die Untergliederung auch nach bautechnischen bzw. sanierungstechnischen Kriterien sinn-

Schichtenansprache

Schichtungen in Auffüllungen

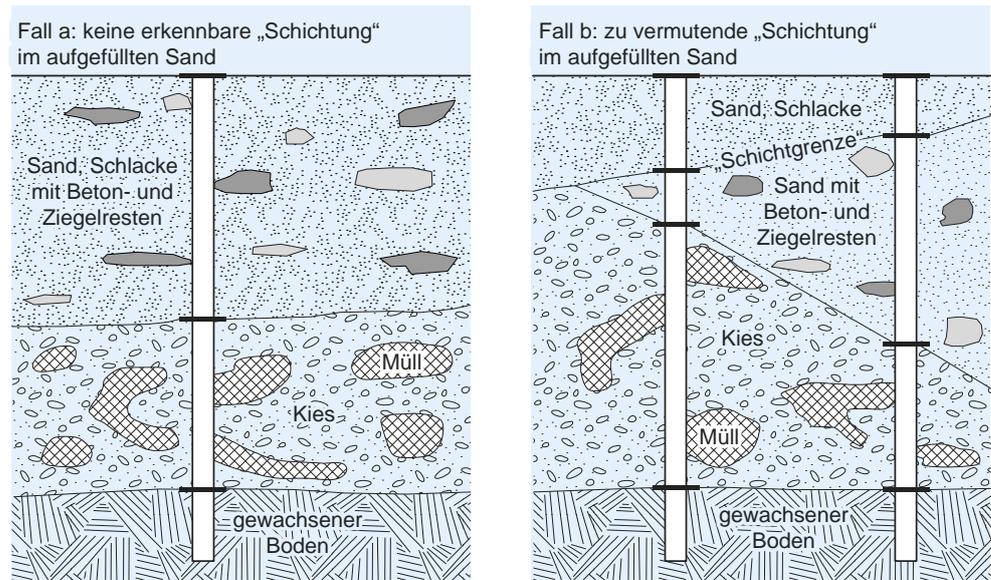


Abb. 15
Beispiele für eine „Schicht“-
Ansprache bei Auffüllungen

voll. Beispielsweise ist die Gliederung einzelner Erkundungsprofile in einer Auffüllung anhand zufällig wiederkehrender Stoffgruppen wenig hilfreich. Ist jedoch eine systematische Wechselfolge erkennbar, ist eine tiefendifferenzierte „Schicht“-Ansprache zweckmäßig. Diese kann beispielsweise für die Beurteilung einer Sanierung durch Aushub als Hilfsmittel für eine Separierbarkeit herangezogen werden. Abbildung 15 zeigt zwei Beispiele einer Schichtansprache in Auffüllungen.

Festlegung der erforderlichen Sondierungstiefe im Feld

Die Bodenansprache im Feld ist häufig das erste verfügbare Kriterium zur endgültigen Festlegung der erforderlichen oder zulässigen Sondierungstiefe. Sie sollte immer auch von einer kritischen Prüfung der eingesetzten Aufschlusstechnik begleitet sein:

- Aufschlüsse sollen, soweit möglich, immer bis in den natürlich anstehenden Boden reichen. Rasteruntersuchungen mit Aufschlüssen, die über dem natürlich anstehenden Boden enden, sind nicht Stand der Technik. Dies gilt sowohl für Untersuchungen von Altablagerungen als auch von Altstandorten mit festgestellten geringmächtigen Auffüllschichten. Bei Altablagerungen, bei denen mit einer natürlichen Basisabdichtung zu rechnen ist, welche je nach Mächtigkeit und vorgesehener Bohrtiefe durchbohrt werden könnte, sind Maßnahmen zum Schutz tieferliegender Schichten, insbesondere Grundwasserleiter, sorgfältig zu planen und mit den zuständigen Genehmigungsbehörden abzustimmen. Grundsätzlich ist die Verletzung einer natürlichen Basisabdichtung zu vermeiden.
- Bei Verdacht auf Untergrundverunreinigungen durch Flüssigkeiten ist die Erkundungstiefe bis unter die Grundwasseroberfläche oder bis auf wasserstauende Bodenschichten zumindest punktuell festzulegen.
- Eine begrenzte Anzahl an Aufschlüssen soll auch immer so tief reichen, dass eine geologische Profilaufnahme von unterlagernden Schichten möglich ist, z.B. Durchteufen von Decklehmen.

Auffällige Bodenschichten sind, soweit technisch möglich, in ihrer vollständigen Mächtigkeit zu erfassen.

4.4.2 Bestimmung der Feldparameter

Die organoleptische Ansprache bildet einen Teil der Feldparameterbestimmung. Bei der Bodenerkundung sind dies folgende Parameter:

- Zusammensetzung (Kornverteilung, Haupt- und Nebenanteile sowie ggf. vorhandene Fremdstoffe nach Art und Anteil),
- Konsistenz, Dichte,
- Farbe,
- Struktur und Homogenität,
- auffälliger Geruch.

Die Durchführung von Riechversuchen an Böden oder Bodenproben darf nur dann erfolgen, wenn eine Gefährdung durch Schadstoffe ausgeschlossen werden kann. Sie muss im Zweifelsfalle unterbleiben (vgl. Kap. 1.5).

Um aus dem Probenmaterial emittierende Substanzen zu ermitteln, die unter Umständen wichtige Informationen zur Beurteilung darstellen, können Summenparameter-Messgeräte eingesetzt werden. Besonders bewährt haben sich dabei Photo- und Flammenionisationsdetektoren (PID, FID). Mittels dieser Geräte ist ein objektiver Ersatz für die Riechprobe möglich. Werden unter Einhaltung von erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen bei der Probennahme Gerüche festgestellt, sind diese zusätzlich zu dokumentieren.

**organoleptische
Bodenansprache**

Feldmessgeräte

4.4.3 Vor-Ort-Analytik

Im Rahmen der Erkundung kann die Verwendung von Schnellverfahren vor Ort bei der Probennahme hilfreich sein, wenn Entscheidungen schnell getroffen werden müssen. Der Einsatz feldanalytischer Methoden ist sinnvoll, wenn diese als Hilfsmittel zur Optimierung der Untersuchungsstrategie, zur dynamischen Anpassung eines Untersuchungsrasters oder einer Konkretisierung (Verminderung oder Erhöhung) von Arbeitsschutzmaßnahmen mit einer nachfolgenden labortechnischen Untersuchung kombiniert werden.

Darüber hinaus kann die Anzahl der Laboranalysen verringert werden, indem überwiegend Proben untersucht werden, die ein positives Ergebnis bei Schnelltestverfahren zeigten.

Es gibt inzwischen eine Reihe analytischer Schnelltests und Messgeräte für den Einsatz im Gelände. Dazu gehören Teststäbchen, Prüfröhrchen, Reaktionsküvettentests mit photometrischer Auswertung, tragbare Sensoren (z.B. FID, PID) oder tragbare Analysengeräte (z.B. Fluoreszenzspektrometer).

Halbquantitativ bis quantitativ messbar sind z.B. DOC, AOX, Mineralölkohlenwasserstoffe, PAK, BTEX, LHKW, PCB, Sprengstoffe (TNT, Hexogen) und Schwermetalle. Nähere Angaben zur Anwendung bei Feststoff- oder Eluatproben, zu Methoden und Messbereichen, zu Einschränkungen in der Anwendung bezüglich einzelner Stoffgruppen, zum Zeitbedarf sowie zur Probenvorbereitung (Schnellextraktion, Schnellelution) enthält eine Zusammenstellung in den „Arbeitshilfen Qualitätssicherung“ Teilthema 2.4 (HLUG 2001a bzw. LABO 2002).

Die Anforderungen an die Vorbereitung und Durchführung sind angesichts der geringen Erfahrung hoch. So sollte der Einsatz von Vor-Ort-Analytik nur unter Mitwir-

**Schnellanalyse-
verfahren**

**Messbare Stoffe und
Stoffgruppen**

**Voraussetzungen
für den Einsatz**

kung analytisch ausgebildeten Personals erfolgen. Weitere Voraussetzungen sind (vgl. auch HLUg 2001a):

- Abstimmung mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde zur Anwendung der Messtechnik
- Kenntnisse über den Zusammenhang von Vor-Ort-Analytik, Probennahmestrategie und Beurteilung
- Validierung durch laborbegleitende Analytik an ausgewählten Proben
- vollständige Dokumentation über die turnusmäßige Kalibrierung, Validierung und den Einsatz von Prüfmitteln
- Qualitätssicherungsmaßnahmen
- Führen eines Qualitätssicherungshandbuchs.

4.4.4 Probennahme

Probenmenge

Die erforderliche Probenmenge ist von dem erbohrten Größtkorn und dem vorgesehenen analytischen Untersuchungsumfang abhängig. Im Rahmen von orientierenden Untersuchungen reichen in der Regel Analysen an der Bodenmatrix ohne vertiefte Betrachtung des Überkorns aus.

Die notwendige Probenmenge richtet sich gemäß BBodSchV nach DIN 18123. Hierbei ergeben sich für ein Größtkorn ab 20 mm erhebliche Probenmengen. Ab einem Größtkorn von 30 mm reichen Rammkernsondierungen mit einem Schuppen-Innendurchmesser von 50 mm für eine Probe aus einem 1 m-Kern nicht mehr aus. Sofern das Größtkorn bei der Probenauswahl/-vorbereitung und Analytik eine untergeordnete Rolle spielt, kann die Probenmenge ab 30 mm Größtkorn nach der Faustformel $G = 0,06 \cdot d$ ermittelt werden, wobei G = Probenmenge [kg] und d = max. Korndurchmesser [mm] ist.

Die erforderliche Probenmenge richtet sich weiterhin nach dem **Analyseumfang** (Parametersatz, Brutto-/Eluatanalysen) wie auch nach der Erfordernis zu Doppelanalysen zur **Qualitätssicherung** bzw. -kontrolle. Für bindige bis sandige Materialien ist daher gewöhnlich mehr Probenmaterial als nach o.g. Faustformel zu entnehmen. Die Probenmenge ist in Abstimmung mit dem beauftragten Laboratorium festzulegen.

Treten in einer Probenmatrix einzelne grobstückige Fremdbestandteile auf (z.B. wenige Asphaltreste in einem homogenen Boden), können diese auch von Hand nach visuellen Kriterien ausgelesen und separat analysiert werden. In jedem Fall ist vor der Analytik der Massenanteil der Fremdbestandteile zu bestimmen, so dass z.B. ein gewichtetes Gesamtergebnis ermittelt werden kann.

Für physikalische Untersuchungen und für die Indexversuche der Bodenmechanik (z.B. Bestimmung der Kornverteilung) ergibt sich die erforderliche Probenmenge aus der Art und Anzahl der vorgesehenen Versuche. Für die Ermittlung der Kornverteilung gibt die DIN 18123 Mindestprobenmengen in Abhängigkeit vom Größtkorn an: 150 g bei 2 mm bis 18 kg bei 60 mm Größtkorn.

Ermittlung der erforderlichen Probenmenge

Separation grobstückiger Fremdbestandteile

bodenmechanische Versuche

Probenarten

Gestörte Proben weisen eine durch die Probennahme gestörte Materialstruktur auf, die durch Kornumlagerung oder Kornbruch verursacht wird. „Gestört“ heißt jedoch nicht, dass bei der Probennahme eine die Zusammensetzung verändernde Auswahl getroffen werden darf. Vielmehr sollen Proben möglichst so entnommen werden, dass an ihnen die Zusammensetzung der beprobten Schicht repräsentativ untersucht werden kann (Schadstoffanteil, Wassergehalt, Kornverteilung, Anteile verschiedener Stoffarten).

Doppelproben werden durch Probenteilung nach ausreichender Homogenisierung einer Probe hergestellt und dem Analysenlabor mit unterschiedlicher Probenbezeichnung zur Überprüfung eventueller Probenvorbereitungs- und Analysenfehler übergeben.

Ungestörte Proben nach DIN EN ISO 22475-1 werden bei der Erkundung von altlastverdächtigen Flächen in der Regel nicht benötigt.

Entnahmetechnik

Bei Sondierungen und Bohrungen mit seitlich offenem Kernrohr erfolgt die Entnahme gestörter Proben direkt aus dem Kernrohr, unmittelbar nachdem der Bohrkern zutage gefördert wurde. Bei geschlossenen Kernrohren (großkalibrige Bohrungen) wird das Kernmaterial vor der Probennahme in einer Kernkiste tiefenorientiert ausgelegt. Die Art und Sorgfalt der Kernrohrentleerung (mechanische Werkzeuge, Pressluft) und die Lagerdauer des Probenmaterials in der Kernkiste beeinflussen die Probenqualität.

Gestörte Proben werden mittels Kelle, Spachtel oder speziellen Probennahmeschäufelchen entnommen. Letztere sind der Öffnungsweite der Sonden angepasst. Generell sind nur Probennahmewerkzeuge aus inertem Material zu verwenden.

Bei einer Haldenbeprobung oder der Beprobung aus Behältnissen auf dem Standort sollte die Richtlinie LAGA PN 98 für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien (LAGA 2001) berücksichtigt werden.

Zur Vermeidung von Querkontamination bei der Probennahme sind folgende Vorkehrungen zu treffen:

- **Standortwechsel**

Alle Bohrwerkzeuge, Schurfgeräte, Probennahmewerkzeuge und Transportbehältnisse werden gründlich gereinigt. Eine geeignete Vorreinigung ist das Dampfstrahlen. Lagerung und Transport sollen in auswechselbaren Behältnissen erfolgen, die selbst gereinigt werden können, z.B. in auswechselbaren Kunststoff- oder Metallbehältnissen. Die Lagerung in Holzkisten oder in fest eingebauten Fächern von Laborfahrzeugen, d.h. nicht reinigbaren Behältnissen, wird einer verschleppungsfreien Umweltprobennahme nicht gerecht.

- **Wechsel von Aufschluss zu Aufschluss**

Nach Abschluss einer Sondierung oder Bohrung werden die Bohrwerkzeuge ausgewechselt oder mit geeigneten Mitteln, die eine messbare Verschleppung von Kontaminanten ausschließen, zwischengereinigt.

Zu beachten sind weiterhin Quellen für Querkontaminationen aus der Umgebung, (z.B. Schmiermittel, Treibstoffe und Abgase aus motorbetriebenen Werkzeugen sowie Staub oder flüchtige Stoffe aus Anlagen in der Umgebung).

gestörte Proben

Doppelproben

Entnahme aus Bohrungen

Entnahmewerkzeuge

Beprobung von Halden oder Behältnissen

Vermeidung von Querkontamination

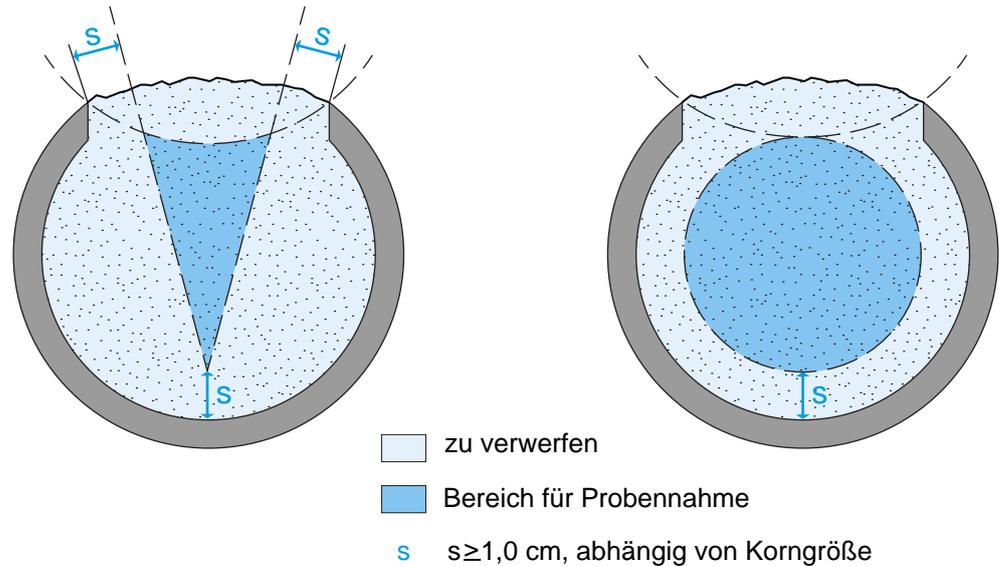


Abb. 16
Verschleppungsfreie Probenahme aus Sondierrohren

- **Durchteufen mehrerer Schichten**

Bei Sondierungen und Bohrungen ist grundsätzlich das Probenmaterial aus dem Kontaktbereich zum Bohrrohr zu verwerfen. Ebenso ist bei halboffenen Entnahmerohren der offenliegende Bereich sowie im Bohrloch nachgefallenes Material zu verwerfen. Die Entnahme erfolgt nach Abtrennen der freiliegenden Kernoberfläche mittels Entnahmewerkzeugen durch konzentrisches Aufschneiden des Innenbereichs des Bohrkerns, so dass Kontaktmaterial zum Entnahmerohr bzw. zur Bohrwand und Nachfall verworfen wird (Abbildung 16).

Bei begehbaren Schürfen erfolgt die Entnahme einer Probe immer von unten nach oben, aus der von Hand abgezogenen Stirnfläche.

- **Wechsel von Probe zu Probe**

Zur Vermeidung von Verschleppung über Probenahmegeräte sind diese nach jeder Entnahme zunächst mechanisch zu reinigen. Für organische Verunreinigungen erfolgt danach eine Reinigung z.B. mit Aceton und anschließender geeigneter Nachreinigung. Bei anorganischen Verunreinigungen kann mit destilliertem Wasser und sauberen Labortüchern nachgereinigt werden. Grundsätzlich sind die Reinigungstechnik und der -aufwand angemessen für das vorgesehene Untersuchungsprogramm zu planen, ggf. zu intensivieren und kritisch zu prüfen (z.B. Kontamination durch Reinigungsmittel).

- **Verwendung von Zwischenbehältnissen**

Die zwischenzeitliche Lagerung von Bohrkernen oder Schurfproben muss in reinigbaren Behältnissen erfolgen. Werden Kernkisten bei Bohrungen eingesetzt, so sind diese mit frischer Folie auszulegen oder von Bohrung zu Bohrung gegen neue Holzkisten auszuwechseln (Achtung: Keine mit Holzschutzmitteln behandelten Kernkisten verwenden).

repräsentative Entnahme von gestörten Proben

Die **Entnahme von gestörten Proben** soll grundsätzlich in einem Tiefenabschnitt erfolgen, welcher die geologische Formation, die boden- oder felsmechanische Einheit und organoleptisch gleichartige Merkmale einheitlich repräsentiert. Aufgrund der Inhomogenität des Bodens werden gestörte Proben standardmäßig als **vertikale Mischproben** über eine gewisse Profilstrecke genommen, um einen quasihomogenen

nen Zustand zu erzielen (abweichend von der Probennahmepaxis für geotechnische Baugrunduntersuchungen). Die zu wählende Länge der angemessenen Profilstrecke hängt i.W. von geologischen Schichtgrenzen sowie den organoleptischen Befunden ab. Die Mischprobennahme sollte aber nicht über Tiefenabschnitte größer als 1 m erfolgen.

Mischproben, die durch Zusammenfassung von Proben aus mehreren verschiedenen Sondierungen oder Bohrungen erhalten werden, bergen immer die Gefahr der Vermischung unterschiedlich stark belasteter Bodenproben in sich (Verdünnungseffekt). Daher ist diese Art der Beprobung in der Regel nicht zulässig.

**keine Mischproben
aus verschiedenen
Bereichen**

Allgemein sollen folgende **Probennahmeregeln** angewendet werden:

Kriterium Untersuchungsziel:

Mit geringer werdendem Abstand eines Bodenbereiches zu einem zu prüfenden Schutzgut sind engere Abstände der Probennahme zu wählen. Dies gilt auch für den Kontaktbereich zu prüfender Schichten am Rand von Bodenbelastungen.

**Kriterien für die
Probennahme je nach
Randbedingung**

Beispiel: Kiessand von 0–20 m Tiefe,
Grundwasser-Schwankungsbereich von 4–6 m,
aktuelle Grundwasseroberfläche in 5,1 m.
Es liegt eine Nutzung als Wohngebiet vor. Eine mögliche Kontamination des Grundwassers ist zu prüfen.
Gestaffelte Probennahme:
0–0,1 / 0,1–0,3 / 0,3–1 / 1–3 / 3–4 / 4–4,8 ($\approx 0,3$ m Kapillarraum) /
4,8–5,1 m.

Kriterium Schichtenfolge:

- Auffüllungen aus Fremdmaterial: aufgefüllte und natürlich anstehende Böden werden immer getrennt beprobt,
- vertikale Mischproben werden nie über geologische Schichtwechsel hinweg genommen,
- Leithorizonte mit unterschiedlichem Sorptionsverhalten, bodenmechanischen Eigenschaften und unterschiedlichem Stoffausbreitungsverhalten werden immer getrennt beprobt. Als Anhalt können unterschiedliche bodenmechanische und felsmechanische Zusammensetzungen und Eigenschaften (Konsistenz bei bindigen Böden!) genommen werden.

Beispiele: Grobsand, schwach kiesig (1. Probe) getrennt von Kies, sandig (2. Probe)
Mürber Kalkstein (1. Probe) getrennt von verwittertem Kalkstein (2. Probe).

Kriterium Grundwasser (einschl. Stauwasser):

- keine vertikalen Mischproben über gesättigte und ungesättigte Bodenzonen hinweg,
- gestörte Probennahmen unter der Grundwasseroberfläche in besonderen Fällen.

Beispiele:

Schwerphase: Probennahme unter der Grundwasseroberfläche sinnvoll; tiefengestaffelt mit geringen Probennahmeabständen über dichten Schichten (bis max. zur Basis des Grundwasserleiters),

Leichtphase: Probennahme nur im Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone sinnvoll.

Kriterium **organoleptische Merkmale:**

- keine vertikalen Mischproben über auffällige und unauffällige Bodenschichten hinweg,
- innerhalb eines auffälligen Bereichs erfolgt die Gliederung nach differenzierenden organoleptischen Merkmalen.

Kriterium **Homogenität/Inhomogenität der Matrix:**

- Die vertikale Mischprobennahmestrecke soll maximal 1 m betragen. Bei einer Mächtigkeit der Auffüllung >4 m oder Altablagerungen mit quasi-homogener Zusammensetzung, Organoleptik und Schichten eindeutig oberhalb oder unterhalb der GW-Wechselzone sind auch Probennahmestrecken bis maximal 2 m möglich.

Herstellung einer teufenproportionalen Mischprobe

Auch nach Gerätewechsel ist das Probenmaterial gleichmäßig über die Tiefe zu nehmen, so dass keine Einzelabschnittsvolumen anteilig stärker oder schwächer vertreten sind als andere.

Beispiel: Handschacht bis 0,6 m (es fällt viel Material an),
 1. Sondierabschnitt: Ø 70 mm von 0,6 bis 1,0 m,
 2. Sondierabschnitt: Ø 50 mm von 1,0 bis 2,0 m

Bei einer vertikalen, teufenproportionalen Mischprobe und einer Probenmenge von 1000 ml sind aus den drei Abschnitten folgende Probenmengen zu entnehmen:

Abschnitt	anteilige Abfüllung in 1 Glas (1000 ml)	erbohrt und als verschleppungsfrei verwendbar
0,0–0,6 m	40 %	400 ml
0,6–1,0 m	30 %	300 ml
1,0–1,5 m	30 %	300 ml
0–1,5 m	100 %	1000 ml

repräsentative Probennahme aus großen Materialmengen

Fallen im Gelände große Probenmengen an, z.B. Material aus Schürfen oder sind zusätzlich Halden zu beproben, sind die Proben zunächst zu homogenisieren. Zur Reduzierung der Probenmenge können zwei Methoden angewendet werden: das Entleeren des Probenmaterials über ein Probenkreuz oder das Aufkegeln und Vierteln. Bei beiden Methoden werden zwei Viertel verworfen und zwei Viertel werden weiterverwendet. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis eine geeignete Probenmenge als repräsentative Probe übrigbleibt und abgefüllt werden kann. Es ist eine Unterlage aus inertem, abriebfestem Material zu verwenden.

Entnahme von Sonderproben

Für die Entnahme von Sonderproben gelten sinngemäß die Probennahmeregeln für vertikale Mischproben. Sonderproben werden in der Regel aus organoleptisch besonders auffälligen kleinen Kernstücken entnommen und stellen keine Mischprobe im Sinn einer schichtbezogenen repräsentativen Probe dar. In jedem Fall ist auch hier bei Entnahme aus Sondier-, Bohr- und Schurfprofilen die Ober- und Unterkante der Probe zu notieren (wenn erforderlich auch auf cm genau). Bei Entnahmen aus Schürfen oder von Haldenoberflächen u.ä. ist der beprobte Bereich zusätzlich in einer Lage-skizze festzuhalten.

Beispiele für Sonderproben

Unter besonderer Beachtung der Sicherheitsvorschriften (Arbeitsschutz, Unfallverhütung, Explosionsschutz) sind weitere Sonderprobennahmen möglich:

- bei Antreffen von Ablagerungen in Kanälen oder Schächten
- Materialprobe aus der Oberflächenbefestigung oder Tragschicht
- hohe Schadstoffkonzentrationen in geringmächtigen Lagen (z.B. teer-stabilisierte Schotterlage an der Basis einer Auffüllung als ehemalige Wegebefestigung)
- Schadstoffe „pur“ in Altablagerungen
- Gebinde in Ablagerungen
- sonstige Betriebs-, Rest- oder Produktionsstoffe auf Altstandorten (z.B. Mineralölreste in einem stillgelegten Tank)
- Leicht-/Schwerölphasen im Boden
- Kluftbesatz
- als Vergleichsprobe das bei Bohrungen eingesetzte Schmierfett.

Dokumentation der Probennahme

Die Dokumentation der aus Aufschlüssen entnommenen Proben soll durchgängig im Schichtenverzeichnis (mit Kopfblatt) nach DIN 4022, Teil 1, Anhang B in Spalte 4 bis 6 erfolgen. Für die gängigen Umweltprobennahmen sollten Probenbezeichnungen und Abkürzungen verwendet werden, die auch Informationen über die Entnahmebedingungen beinhalten und sich eindeutig von parallel entnommenen Proben für rein bodenmechanische Untersuchungsziele unterscheiden.

Dokumentation im Schichtenverzeichnis

Folgende Abkürzungen werden vorgeschlagen:

- für **C**hemische Analysen geeignete **P**roben (Glas oder Polyethylen-Dosen): CP
- **S**onderproben: SP
- für größere Probenmengen in **E**imerproben EP
(für bestimmte chemische Analysen, z.B. auf Schwermetalle):
- **u**ngestörte **P**roben: UP

vorgeschlagene Abkürzungen

Abweichend von DIN 4022 sind für Umweltproben immer Unter- und Obergrenze des Entnahmebereichs anzugeben. Die Proben werden für jeden Aufschluss von oben nach unten fortlaufend durchnummeriert. Bei der Entnahme von Bodenproben ist die Beurteilung der Repräsentanz der Probe ein wesentliches Qualitätsmerkmal. Insbesondere wenn nur ein Teil des erbohrten Bodens als Probe entnommen wird, ist eine Dokumentation der Entnahmetiefe und Entnahmeart (Mischproben, punktuell genommene Probe) erforderlich.

Angabe des Entnahmebereichs

Die bei der Probennahme vorherrschenden äußeren Bedingungen (z.B. Niederschlag, Lufttemperatur, allgem. Wettersituation) und das Umfeld der Probennahmestelle (z.B. Versiegelungsgrad, Bebauung, Bewuchs) sind zu dokumentieren.

äußere Bedingungen dokumentieren

Mit den übrigen schichtbezogenen Angaben der organoleptischen und geologisch/bodenmechanischen Ansprache im Schichtenverzeichnis sind Standardmischproben aus Aufschlüssen umfassend dokumentiert. Durch die Auflistung sämtlicher aus Aufschlüssen entnommenen Proben im Schichtenverzeichnis und ggf. auch maßstabsgetreue zeichnerische Darstellung der Bohrprofile entsteht ein nachvollziehbarer Überblick über die für die Analytik zur Verfügung stehenden Proben mit ihrer Schichtzugehörigkeit, den organoleptischen Merkmalen und dem vertikalen Abstand zum Grundwasser. Tabelle 9 gibt ein typisches Beispiel für die Dokumentation.

4 Bodenerkundung

Tab. 9: Dokumentation von Proben in Schichtenverzeichnissen

		Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben				Anlage: Bericht: AZ:	
Bauvorhaben:							
Bohrung Nr.: RKS 3 / Blatt 1						Datum: 26.04.2002	
1	2	3	4	5	6		
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen	Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust	Entnommene Proben				
	b) Ergänzende Bemerkungen ¹⁾		Art	Nr.	Tiefe in m Unter- kante		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut					d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe
	f) Übliche Benennung					g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe
0,12	a) Asphalt b) <i>(mit Wasserspülung aufgebohrt, d = 200 mm)</i> c) d) e) f) g) h) i)	(Durchmesser 90mm)	EP 1	1	0,12		
0,30	a) Schotter, Schlacke (-40%), sandig b) c) trocken d) e) schwarz, bunt f) g) h) i) [GW],[A]	Schotter, Schlacke: Schlacke: (kein Geruch)	EP 2 SP 1	2 3	0,30 0,30		
1,50	a) Sand, kiesig, schluffig, stark sandig, stark schluffig b) <i>vereinzelt Ziegel- u. Schlackestücke (Schlitzverlust von 1.0 - 1.1 m)</i> c) feucht d) e) braun f) aufgef. Boden g) h) i) [SU],[GU]	(2 x 1000 ml) (kein Geruch)	CP 1	4	1,40		
1,70	a) Kies, schwach sandig, (aufgefüllt ?) b) verklebt, zähe - feste Masse c) d) e) braun f) g) h) i) [GW]	Teergeruch (?)	SP 2	5	1,70		
3,20	a) Fein- bis Mittelsand, schwach schluffig b) c) feucht d) e) hellbraun f) Flugsand g) Quartär h) i) SE,SU	Mineralölgeruch: (Benzin ?): bis 2.8 m: schwach - mittel ab 2.8 m: mittel	CP 2 CP 3 EP 3	6 7 8	2,80 3,20 3,20		

¹⁾ Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor

Für die Dokumentation der Probennahme von oberflächennahen Bodenschichten können Probennahmeprotokolle nach LABO (2002) verwendet werden. Bei Sondierungen/Bohrungen (Kap. 4.3.1 und 4.3.2) sind weitere Informationen erforderlich.

Zu dokumentieren sind u.a.:

- Aufschlussart
- Nennweite der Bohrung
- Tiefe der Bohrung
- Grundwasserspiegel
- Probennehmende Stelle/Probennehmer
- Bodenart
- Probenart

- Entnahmegesetz
- Entnahmetiefe
- Farbe und evtl. Geruch der Probe
- Art und Anzahl der Probengefäße

Für Mischproben aus Halden, Sonderproben und ungestörte Proben sind zusätzlich zu den probenspezifischen Daten in Probennahmeprotokollen ggf. auch die Lage, die bodenmechanische Ansprache nach DIN, das Entnahmegesetz und die Probenmenge festzuhalten.

Sonderproben außerhalb von Aufschlusspunkten sind als Probennahmepunkte nach Lage und Entnahmebedingung zu dokumentieren (z.B. Sonderprobe aus einem auf einem Altstandort gelagerten Produktgebäude).

Weitere erhältliche Informationen sind aufzunehmen (z.B. Herstellerangaben auf dem Etikett des Behältnisses). Zur Dokumentation hilfreich sind auch photographische Abbildungen (mit Maßstabsvergleich und Farbtabelle).

Die Proben selbst sind auf den Behältnissen (nicht Deckel!) eindeutig zu deklarieren (siehe Abbildung 17). Die Beschriftung soll folgende Informationen enthalten:

- probennehmende Institution
- Projekt/Standort/Grundstück/Teilbereich
- Datum der Entnahme
- Aufschlussart und Nr. (z.B. RKS 3)
- Probennummer zum zugehörigen Aufschluss (z.B. CP 1)
- Entnahmebereich (Tiefenbereich)
- Hinweise an das Analysenlabor (z.B. „Dieselgeruch“)
- sonstige Bemerkungen
- Probennehmer.

Mischproben

Beschriftung der Probenbehälter

Institut XYZ	
Projekt-Nr.:	<u>161.001</u>
Projekt-Bez.:	<u>Lackfabrik, Reinstadt</u>
Teilfläche:	<u>ehem. Tankstelle</u>
Datum:	<u>12.09.01</u> Entnahmestelle: <u>RKS 3</u>
Proben-Nr.:	<u>CP 1</u> Tiefe: <u>0,3 - 1,2 m</u>
Bemerkung:	<u>kein Geruch, Schlitzverlust 1,0 - 1,1 m,</u>
Probennehmer:	<u>R. Fischer</u>

Abb. 17
Etikett eines Probenbehälters

4.4.5 Probenauswahl

Auswahl der Bodenproben bei der Probennahme

Zur Verringerung der Analysenkosten findet in der Regel eine Auswahl der zu analysierenden Proben bereits bei der Beprobung und nochmals vor der Analytik statt. Die Probennahmekosten sind im Vergleich zu den Analysenkosten deutlich geringer. Der Gutachter unterliegt daher bei der Probennahme weniger dem Zwang zur Minimierung der Probenanzahl als bei der Auswahl von Proben für die chemische Analytik. Daher kann allenfalls bei offensichtlich gering zu erwartender Aussagekraft von Analyseergebnissen eine weitere Beprobung entfallen. Ansonsten findet in Zweifelsfragen eine Beprobung statt.

Dabei ist zu beachten, dass auch unauffällige Proben für den Nachweis einer nicht gegebenen Bodenbelastung oder für andere Zwecke (Vergleich biogen/geogen/anthropogen, Hintergrundwerte, Abgrenzung belasteter Bereiche, bodenmechanische Versuche an unbelasteten Proben) wertvolle Hinweise für eine Gesamtbewertung geben können (vgl. auch HLUg 2001a zu Referenzproben).

zielgerichtete Auswahl für die chemische Analyse

Generell sollen Proben für die Analytik so ausgewählt werden, dass ein Optimum an Information für die Beurteilung und ggf. eine Entscheidung für vertiefte Untersuchungen erzielt wird.

Mit den Erkundungsdaten aus der Bodenansprache und der organoleptischen Prüfung verfügt der Aufsteller des Analysenprogrammes über Informationen, die es ermöglichen, eine zielgerichtete Auswahl zu treffen, soweit nicht bereits Vorgaben der BBodSchV die Probenauswahl vorgeben. Die Auswahl orientiert sich an dem allgemeinen Ziel, möglichst repräsentative Ergebnisse für folgende Bereiche zu erhalten:

- gesamtes Untersuchungsgebiet
- ausgewählte Teilgebiete aufgrund besonderer Merkmale (z.B. unterschiedlich alte Verfüllungsräume einer Altablagerung)
- Bereiche mit auffälligen Feldmesswerten
- organoleptisch auffällige Bereiche
- wahrscheinliche Gefahrenherde, z.B. Verfüllungen
- einem potenziellen Schadstoffeintrag direkt ausgesetzte Bereiche oder Schichten
- u.U. indirekt betroffene Bodenschichten (Schadstoffverlagerungen aus Ablagerung, Kontaktbereiche zu Schadstoffnestern)
- charakteristische Bodenschichten.

Analysenstrategie

Häufig müssen Kompromisse eingegangen werden. Die Analysenstrategie lässt sich bei einem schrittweisen Vorgehen optimieren.

Zunächst werden die Proben mit organoleptischen Auffälligkeiten und Proben, deren Lagerdauer bei Untersuchung spezieller Parameter (leichtflüchtig) begrenzt ist, für den ersten Analysenschritt ausgewählt. Gegebenenfalls wird ein begrenzter Parameterumfang festgelegt.

In Abhängigkeit der Ergebnisse wird dann entschieden, wo weitere Schwerpunkte gesetzt werden (z.B. Parameterwahl, Identifikationsanalysen, erste Eingrenzung in der Tiefe und Fläche, mögliches Ausbreitungsverhalten, nutzungsbezogene Auswirkungen, rasterförmige Beurteilung).

4.5 Probenhandhabung

Grundsätzlich sind bezüglich Verpackung, Kennzeichnung, Transport und Lagerung von Bodenproben vergleichbare Maßstäbe anzulegen wie bei Wasserproben (Kap. 3.5). Zur Reinigung und Konditionierung wieder verwendbarer Gläser wird auf Teilthema 2.3 der Arbeitshilfen Qualitätssicherung (HLUG 2001a) verwiesen. Behälter aus Kunststoff sollten nur einmal verwendet werden.

Wichtige Regeln bei der Probenhandhabung sind:

- Eindeutige Dokumentation und Probenkennzeichnungen.
- Entnahme ohne Querkontamination (Entnahmegерäte aus Edelstahl oder inertem abriebfestem Kunststoff, gegenüber dem zu analysierenden Medium inertes Behältermaterial).
- Transport und Lagerung sollten kühl (4 °C), trocken, dunkel und erschütterungsarm sein.
- Baldige Weiterverarbeitung (möglichst innerhalb von drei Tagen), Vorgehensweise bei leichtflüchtigen Schadstoffen s. u.

Eine häufige Fehlerquelle ist die Aufheizung von Probengefäßen durch Sonneneinstrahlung, die zu Probenveränderungen führen kann.

Als Probengefäße für Bodenproben sind besonders geeignet:

- Braunglas-Weithalsflaschen (0,5-1 l) mit Schliffstopfen oder Schraubdeckel (mit PTFE-kaschierter Dichtung). Diese Gläser sind für alle Probenarten geeignet. Grundsätzlich sind bei Bodenproben, die auf organische Substanzen untersucht werden sollen, derartige Glasgefäße zu benutzen. Wie bei Wasserproben sollten diese vor Gebrauch eine Stunde kopfüber im Trockenschrank bei 150 °C ausgeheizt werden.
- Kunststoffdosen mit Schraub- oder Schnappdeckel aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polystyrol (PS). Diese Materialien sollen nicht benutzt werden, wenn Verdacht auf eine organische Kontamination der Bodenprobe besteht bzw. wenn organische Stoffe in der Probe untersucht werden sollen.

Spannring- oder Klemmdeckelgläser (Einmachgläser), Schraubdeckelgläser mit kunststoffgedichtetem Deckel sowie Kunststoffbehälter sollten grundsätzlich nur bei geplanter Untersuchung auf nichtflüchtige anorganische Parameter eingesetzt werden.

Bei Verdacht auf leichtflüchtige Substanzen (z.B. Lösungsmittel, Kraftstoffe) ist eine Konditionierung von Bodenproben bei der Entnahme zwingend. Hierzu werden feldfrische Proben sofort nach der Entnahme aus dem Bohrkern in ein vom Labor eingewogenes, wasserlösliches organisches Lösungsmittel (z.B. Methanol) gegeben und sofort verschlossen (HLUG 2000a, DIN ISO 22155). Eine augenblickliche Probenkühlung ist hier unbedingt erforderlich.

Es erfolgt eine erste Vor-Ort-Extraktion, bei der die Einfüllmenge des Bodens auf die vorgegebene Menge des Lösungsmittels abgestimmt sein muss bzw. ein unangemessenes „Überfüllen“ an Boden zu vermeiden ist. Entsprechend ist das Vorgehen unbedingt im Vorfeld mit dem Analysenlabor, bei dem die entsprechenden Untersuchungen durchgeführt werden sollen, abzustimmen. Weitere Hinweise zu geeigneten Lösungsmitteln, zur Methode und zu den nachfolgenden Analysenschritten gibt HLUG (2000a).

Grundsätzlich können bei der Probennahme von Böden Verluste leichtflüchtiger Substanzen nicht ausgeschlossen werden. Je nach Fall sind derartige Schadstoffe auch in der Bodenluft zu untersuchen.

vergleichbares
Vorgehen wie bei
Wasserproben

Probengefäße

Untersuchung auf
leichtflüchtige
Substanzen

4.6 Elutions- und Extraktionsverfahren

Mit Elutions- und Extraktionsverfahren kann die Mobilisierbarkeit von Schadstoffen durch Sickerwasser abgeschätzt werden. Die Ermittlung der Schadstoffmobilität ist ein wesentlicher Bestandteil einer Sickerwasserprognose (Kap. 6).

Elutionsverfahren

Als Elutions- und Extraktionsmittel werden Wasser oder wässrige Lösungen eingesetzt. Für die Elution mit Wasser stehen insbesondere folgende Verfahren zur Verfügung (Stand 2014):

- DIN 19529 zur Elution anorganischer Stoffe (2:1-Schüttelversuch)
- DIN 19527 zur Elution organischer Stoffe (2:1-Schüttelversuch)
- DIN 19528 zur Elution/Perkolation anorganischer und organischer Stoffe (Säulenversuch).

weitere Elutions-/Extraktionsverfahren

Um die Mobilisierbarkeit von Schwer- und Halbmetallen unter extremen Bedingungen zu ermitteln, steht das pH_{stat} -Verfahren zur Verfügung. Beim pH_{stat} -Verfahren wird der pH-Wert während der Elution auf pH 4 oder pH 11 konstant gehalten.

In der BBodSchV werden weitere Verfahren genannt, die für die Altlastenerkundung jedoch nur eingeschränkt geeignet sind und nicht mehr angewendet werden sollten:

- S4-Verfahren (DIN 38414-4)
- Bodensättigungsextrakt (Anhang 1 Nr. 3.1.2 BBodSchV)
- Ammoniumnitrat-Extrakt (DIN 19730)

Die genannten Verfahren sind im Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 3, kurz beschrieben. In diesem Handbuch werden ausführliche Hinweise zur Anwendbarkeit sowie zu den Vor- und Nachteilen der Verfahren gegeben (HLUG 2002)

Bewertung der Ergebnisse

Die Beurteilung der Mobilität von Schadstoffen erfolgt einerseits aufgrund der Schadstoffkonzentration im Eluat/Extrakt. Andererseits ist der prozentuale Anteil der mobilisierten Schadstoffe im Vergleich zum Gesamtgehalt der Schadstoffe relevant.

keine direkte Vergleichbarkeit

Die o.g. Verfahren sind wegen der sehr unterschiedlichen Versuchsbedingungen nicht vergleichbar. Welches der Elutions- und Extraktionsverfahren angewendet werden soll, ist im Einzelfall, in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung, zu entscheiden. Eine Umrechnung der mit einem Verfahren ermittelten Eluierbarkeit in die Eluierbarkeit bei Anwendung eines anderen Verfahrens ist nicht möglich.

4.7 Chemische Untersuchungen

Einzelheiten zur chemischen Untersuchung von Bodenproben sind in HLUG (2001a) und LABO (2002) beschrieben.

Aufschluss bei anorganischen Stoffen

Der zentrale Schritt der Probenvorbereitung von Boden- und generell Feststoffproben ist bei anorganischen Analyten der Aufschluss, bei organischen die Extraktion.

Beim Aufschluss wird die Bodenmatrix möglichst vollständig zerstört, um damit die Elemente, die untersucht werden sollen, in gelöste Form zu überführen, in welcher sie gemessen werden können. Bei anorganischen Analyten wird i.d.R. der Königswasser-aufschluss nach DIN ISO 11466 eingesetzt. Stoffe, die unter den extremen Bedingungen eines Königswasser-aufschlusses nicht freigesetzt werden, weisen auch nur eine geringe umweltthygienische Relevanz auf (minimale Mobilität und Bioverfügbarkeit).

Für die Analyse auf organische Verbindungen sind Aufschlussverfahren nicht geeignet, weil die zu untersuchenden Substanzen im Zuge des Verfahrens zerstört werden würden. Zur Aufbereitung dieser Stoffe dient die Extraktion mit Lösungsmitteln. Oftmals wird die Probe dafür getrocknet, damit die heterogene Feststoffphase mit einem unpolaren Lösungsmittel benetzt werden kann. Zur Extraktion aus der originalfeuchten Probe sind Lösungsmittel notwendig, die mit Wasser mischbar sind. Es werden daher unterschiedliche Lösungsmittel oder auch Lösungsmittelsysteme eingesetzt.

Extraktion bei organischen Verbindungen

Zur Untersuchung von Bodenproben auf flüchtige Stoffe wird bereits im Probenahmegefäß Methanol vorgelegt, um Verdampfungsverluste zu minimieren (HLUG 2000a).

Für den eigentlichen Extraktionsschritt lassen sich zwei Grundverfahren unterscheiden (HLUG 2001a):

- **Extraktion bei Raumtemperatur (Kaltextraktion)**
Die Probe wird mit Lösungsmittel versetzt und bei Raumtemperatur geschüttelt, gerollt oder über Kopf gedreht, um eine intensive Durchmischung des Feststoffs mit dem Lösungsmittel zu erreichen. Eine weitere Möglichkeit, um eine Durchmischung sicherzustellen, besteht im Energieeintrag durch Ultraschall. Dabei tritt eine Erwärmung der Probe auf.
- **Extraktion bei Siedehitze (Heißextraktion)**
Bei dieser Extraktion wird die Probe bei der Siedetemperatur des jeweiligen Lösungsmittels durch einen Lösungsmittelstrom extrahiert, der durch permanente Verdampfung und Kondensation im Kreislauf geführt wird. Prinzipielle Varianten hierbei sind die Durchlaufextraktion (Probe wird permanent von durchlaufendem Lösungsmittel durchströmt) und die Soxhlet-Extraktion (Probe wird in einer definierten Anzahl von Extraktionszyklen durch periodisch ausgetauschtes Extraktionsmittel extrahiert).

Extraktion bei Raumtemperatur

Extraktion bei Siedehitze

Im Analysenprotokoll muss vermerkt werden, ob sich das Ergebnis auf die Trockenmasse oder die Probe im Originalzustand bezieht. Im letzteren Fall muss der Wassergehalt mit angegeben werden. Alle Bodenwerte der BBodSchV (Anhang 2) beziehen sich auf die Trockenmasse.

Es ist zu beachten, dass eine repräsentative Probe eingesetzt werden muss, d.h., dass die gleichen Mengenanforderungen wie unter Kapitel 4.4.4 gelten. Sofern zur Verminderung der einzusetzenden Materialmenge Homogenisierungsschritte eingeschaltet wurden (Siebung, Zerkleinerung), ist dieses detailliert zu dokumentieren und bei der Auswertung zu berücksichtigen.

repräsentative Proben sind Voraussetzung

Im Analysenprotokoll muss angegeben werden, auf welchen Teil der Probe sich das Ergebnis bezieht. Dies ist im wesentlichen von der Art der Homogenisierung abhängig. Folgende sinnvollen Möglichkeiten existieren:

Methoden der Homogenisierung

- Siebprobe: Boden:
Gemäß BBodSchV, Anhang 1, Nr. 2.4.1 wird die Kornfraktion > 2 mm abgesiebt; die Fraktion < 2 mm wird vorrangig untersucht.
- Gesamtprobe: Bodenmaterial:
Die gesamte Probe wird bei mineralischen Fremdbestandteilen (i.d.R. Bauschutt) bis auf eine Korngröße von < 1 bis 2 mm gebrochen.

Die so erhaltene Fraktion wird gemischt, bis sie visuell homogen erscheint. Es wird eine repräsentative Teilprobe von 100–200 g entnommen und gemahlen, sofern eine weitergehende Zerkleinerung erforderlich ist (z.B. für den Aufschluss). Um Querkon-

taminationen zu vermeiden, ist bei der Bestimmung von Schwermetallen zu beachten, dass die Mahlgeräte (z.B. Kugelmühle) keine metallischen Werkstoffe enthalten, die mit dem Probenmaterial in Kontakt kommen.

Die oben beschriebenen Probenvorbereitungsmethoden sind vor Beginn von Bodenanalysen klar zu definieren, festzulegen und müssen im Analysenbericht dokumentiert werden.

Analysenprogramm

Die Erstellung des Untersuchungsprogramms für Bodenanalysen ist davon abhängig, welche Wirkungspfade betroffen sind (z.B. Boden→Grundwasser, Boden→Mensch, Boden→Bodenluft→Mensch). Im Einzelfall ist zu prüfen, ob im Vorfeld von Bodenuntersuchungen zunächst Untersuchungen des Grundwassers und der Bodenluft durchzuführen sind. Insbesondere bei der Betrachtung des Wirkungspfad Boden→Grundwasser ist es oftmals sinnvoll, zunächst das Grundwasser im nahen Abstrom auf Verdachtsparameter zu untersuchen (Kap. 3.6). Bei leichtflüchtigen Schadstoffen (LCKW, BTEX) sind im ersten Erkundungsschritt Bodenluftuntersuchungen i.d.R. sinnvoller als Bodenproben (Kap. 5.2.2). Werden Schadstoffe im Grundwasser bzw. in der Bodenluft nachgewiesen, sind diese Stoffe auch in das Untersuchungsprogramm für Bodenanalysen einzubeziehen.

Erkenntnisse aus Grundwasser- und Bodenluftuntersuchungen

Für die Betrachtung der Wirkungspfade Boden→Mensch und Boden→Sickerwasser→Grundwasser sind Bodenanalysen unverzichtbar.

bekanntes Schadstoffspektrum

Bei Flächen, bei denen zuverlässig auf ein bestimmtes Schadstoffspektrum geschlossen werden kann (**Altstandorte** und **Schadensfälle**), können sich Bodenanalysen auf die Untersuchung der kritischen Parameter in den relevanten Bereichen (potenzieller Gefahrenherd, Bereiche mit empfindlicher Nutzung) beschränken.

unbekanntes Schadstoffspektrum

Für Flächen, bei denen das Stoffspektrum weitgehend unbekannt ist oder lediglich ein diffuser Verdacht auf Schadstoffbelastungen besteht (z.B. kommunale **Altablagerungen** bzw. deren Abdeckungen), kann das in Tabelle 10 aufgeführte Untersuchungsprogramm angewandt werden.

Für den Wirkungspfad Boden→Mensch erfolgen Analysen insbesondere auf Schwer-/Halbmetalle. Im Falle organoleptisch auffälliger Proben (insbesondere Geruch, Konsistenz, Beimengungen) sind zusätzlich organische Parameter zu untersuchen: MKW, PAK, PCB, Phenole. Die leichtflüchtigen Schadstoffe BTEX, LCKW werden i.d.R. zunächst in der Bodenluft untersucht. Für den Wirkungspfad Boden→Grundwasser sind Bodenuntersuchungen auf diejenigen Schadstoffe durchzuführen, die bei Grundwasser- und Bodenluftbeprobungen vorgefunden wurden.

Analysenverfahren

Eine Zusammenstellung von Analysenverfahren für eine große Zahl anorganischer und organischer Parameter findet sich im im Fachmodul Boden und Altlasten (LABO 2012) sowie in der LAGA-Methodensammlung Abfalluntersuchung (LAGA 2012).

Verdachtsparameter

Sofern ein konkreter Verdacht auf das Vorhandensein bestimmter kritischer Stoffe besteht, die in Tabelle 10 nicht erfasst sind, sollen diese ebenfalls untersucht werden. Dies können beispielsweise sein: PCB, LHKW, BTEX, sprengstofftypische Verbindungen (u.a. nitroaromatische Verbindungen), Kampfstoffe, weiterhin auch andere als die oben aufgeführten Metalle und Metalloide, z.B. Thallium, Antimon, Uran, Selen usw.

Beim Vorhandensein typischer Pyrolyseprodukte (z.B. verschmorte Kunststoffe oder Asche) sollte fallbezogen exemplarisch auf polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) untersucht werden.

Tab. 10: Untersuchungsprogramm Boden – diffuser Verdacht

Parameter
pH-Wert
Trockenmasse
Glühverlust
Arsen
Blei
Cadmium
Chrom, gesamt
Kupfer
Nickel
Quecksilber
Zink
Cyanide
Mineralölkohlenwasserstoffe ¹
PAK (16 PAK nach U.S. EPA) ¹
PCB ¹
Phenol-Index ^{1,2}
Verdachtsparameter sind zu ergänzen!

¹ bei organoleptisch auffälligen Proben

² aus Eluat

Es ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die Untersuchung flüchtiger Substanzen an Proben aus grobkörnigen (z.B. kiesigen) Böden problematisch ist, da aufgrund des geringen Adsorptionsvermögens der Matrix kaum reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können. Hier ist die Untersuchung der Bodenluft hilfreich (vgl. Kap. 5).

Folgende Daten können Auskunft über die **Qualität einer Messung** geben:

- Verfahrensbeschreibung (Aufschluss-, Analysenmethode, Gerätetypen und Verfahrensparameter), einschl. Beschreibung der Qualitätssicherungsmaßnahmen
- Original-Laborprotokolle, Messprotokolle
- Grad der Absicherung der Identität der zu untersuchenden Substanz
- Daten zur Kalibrierung des Messgerätes in der jeweiligen Analysenserie, Linearitätsbereich, Anzahl und Konzentrationsbereich der Kalibrierungspunkte, Häufigkeit der Kalibrierung
- Nachweisgrenzen, Bestimmungsgrenzen, Wiederfindungsraten
- Ergebnisse der Untersuchung von Blindproben (Labor-Blindwerte).

Aus den o.g. Anforderungen ergibt sich bereits, dass nur Laboratorien mit Analyserleistungen beauftragt werden sollten, die eine hinreichende Qualitätssicherung betreiben, um diese Angaben (in ausreichender Qualität) zur Verfügung stellen zu können. Dies erfordert den Nachweis von personeller Qualifikation und Erfahrung, entsprechender apparativer Ausstattung und die Teilnahme an externen Qualitätssicherungsprogrammen. Eine Untersuchungsstelle (Laboratorium) weist diese Anforderungen in der Regel durch eine Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 nach.

Untersuchungsstellen, die Aufgaben nach § 18 des BBodSchG wahrnehmen, können durch die zuständigen Länderbehörden notifiziert, d.h. offiziell zugelassen werden.

Messung flüchtiger Schadstoffe in grobkörnigen Proben nicht sinnvoll

Qualitätsparameter

Qualifikation der Laboratorien

Akkreditierung

Notifizierung

Die Voraussetzungen für die Notifizierung für den Bereich Boden und Altlasten sind im Fachmodul Boden und Altlasten (2000 bzw. 2012) der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz LABO festgelegt (LABO 2012). Die Kompetenzfeststellung erfolgt in der Regel durch eine Akkreditierung durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS), die gemäß der Vorgaben des Fachmoduls Boden und Altlasten erfolgt.

Bei der Auswahl der Laboratorien sollten daher nur solche Untersuchungsstellen berücksichtigt werden, die nach Fachmodul Boden und Altlasten notifiziert bzw. akkreditiert sind.

4.8 Qualitätssicherung

Qualitätssichernde Maßnahmen im Rahmen der Bodenerkundung sind in den vorangegangenen Teilkapiteln beschrieben. Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte zusammenfassend dargestellt.

Bei Sondierbohrungen müssen vor allem folgende Fehlerquellen ausgeschlossen werden:

- eingesetzte Geräte können durch die Emission von Betriebsstoffen und Schmiermitteln zu einer Kontamination von Boden und Grundwasser führen,
- durch den Bohrvorgang kann es zu Schadstoffverschleppungen im Bohrloch kommen,
- durch schlecht oder nicht gereinigte Bohr- und Probennahmegerätschaften kann es zu Schadstoffverschleppungen von einer Bohrung zur nächsten kommen.

Die Beschreibung des Untergrundes (Bohrkernansprache) ist auf entsprechenden Formblättern DIN-gerecht vor Ort zu dokumentieren. Die Entnahme von Bodenproben sollte mit Angabe des Tiefenintervalls im Schichtenverzeichnis dokumentiert werden.

Bei der Probennahme sind insbesondere Verschleppungseffekte auszuschließen. Speziell bei der Entnahme und Lagerung von Proben zur Untersuchung auf leichtflüchtige Schadstoffe sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um Ausgasungsverluste zu minimieren.

4.9 Sickerwassermodellierung in der ungesättigten Bodenzone

Die Modellierung der Wasserbewegung und des Stofftransports in der ungesättigten Bodenzone ist komplizierter als die entsprechende Modellierung in der wassergesättigten Zone (vgl. Kap. 3.8), weil neben der Bodenmatrix eine flüssige und eine gasförmige Phase vorhanden sind. Eine Modellierung, die sämtliche Einflussfaktoren berücksichtigen würde, ist im Allgemeinen schon deshalb nicht durchführbar, weil viele der für das Modell erforderlichen Eingabeparameter in der Praxis nicht ermittelt werden können.

Die Modellierung der Wasserbewegung (und des daran gekoppelten Stofftransports) erfolgt auf der Grundlage nichtlinearer Differenzialgleichungen, die im Allgemeinen nur numerisch mittels Finiter-Elemente- oder Finiter-Differenzen-Verfahren gelöst werden können.

wichtige Regeln
für die Qualitäts-
sicherung

komplizierter als
GW-Modellierung

Numerische
Modelle nur in
Ausnahmefällen

Derartige numerische Modelle können daher bei Altlastenerkundungen im Rahmen von orientierenden Untersuchungen nicht angewandt und bei Detailuntersuchungen nur in Ausnahmefällen angewandt werden (vgl. auch Kap. 6). Hinweise auf Simulationsprogramme können HLUG (2001a) und DASIMA entnommen werden.

Speziell für die Sickerwassermodellierung bei Detailuntersuchungen steht das analytische Stofftransportmodell ALTEX-1D zur Verfügung. ALTEX-1D wurde im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz entwickelt. Es basiert auf EXCEL und ist kostenfrei verfügbar (LABO 2008).

**Analytisches
Modell ALTEX-1D**

4.10 Verwendung von Untersuchungsergebnissen aus der Altlastenerkundung für die Abfallentsorgung

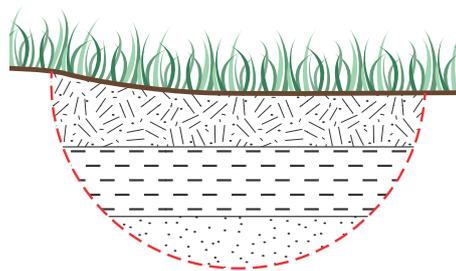
Bei der Sanierung von Altlasten und bei der Wiedernutzbarmachung von Altflächen fallen regelmäßig Boden- und Bauschuttmaterialien an, die als Abfälle beseitigt oder einer neuen Nutzung zugeführt werden. Für diese Entsorgungsvorgänge (Verwertung oder Beseitigung) müssen Deklarationsanalysen durchgeführt werden. Das Ergebnis dieser Analysen entscheidet wesentlich über die Höhe der Entsorgungskosten. Meistens ist es bereits vor der eigentlichen Bau- oder Sanierungsmaßnahme notwendig die Belastungen zu kennen.

Wenn auf einer Altfläche/Altlast ein ungestörter natürlicher Schichtenaufbau vorliegt oder die abgelagerten Materialien natürlicher Herkunft sind, können Untersuchungsergebnisse aus der Altflächen/Altlastenerkundung prinzipiell zur Abfalleinstufung der zu entsorgenden Böden herangezogen werden.

Eine Abfalleinstufung auf Grundlage der vorliegenden Erkundungsergebnisse ist nur unter folgenden Randbedingungen zulässig:

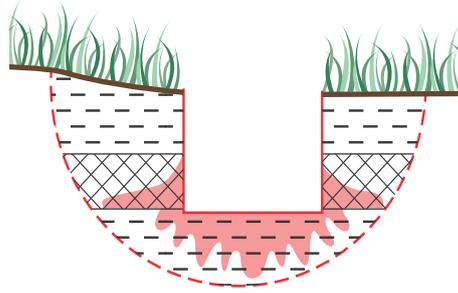
- Es findet eine organoleptische Kontrolle bei dem Ausbau statt.
- Die Schichten wurden getrennt beprobt.
- Für jeweils 1000 m³ Bodenmaterial (Schüttmenge) liegen mindestens zwei Laborproben vor (ermittelt aus Mischproben im Sinne der LAGA PN 98) (LAGA 2001).
- Bei Bodenschichten mit deutlich unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung: Von jeder Schicht liegen mindestens zwei Laborproben vor (ermittelt aus Mischproben im Sinne der LAGA PN 98).
- Das Größtkorn ist bekannt und der Durchmesser des Probennahmegerätes beträgt mindestens das Dreifache des D95 Kornes.
- Der Schichtenaufbau wurde mit mindestens einem Schurf nachgewiesen, der alle zu entsorgenden Schichten umfasst.

Vorhandene Analysenergebnisse (z.B. aus Rammkernsondierungen) können wie folgt verwendet werden: vier benachbarte Einzelproben der jeweils gleichen Schicht können rechnerisch (Mittelwertbildung) zu einer Mischprobe im Sinne der LAGA PN 98 zusammengefasst werden.



**Fall 1:
ungestörter
Schichtenaufbau,
Bodenmaterial
natürlicher Herkunft**

**Fall 2:
Schadensherd saniert,
im Randbereich des
Schadensherdes ver-
bleiben Schadstoffe**



Wenn auf einer Altlast der Schadensherd durch Bodenaushub saniert wurde, verbleibt in Randbereichen des Schadensherdes häufig Boden/Bodenmaterial mit Schadstoffbelastungen.

Altlasten werden vor einer Sanierungsmaßnahme gut erkundet. Die Erkundungsergebnisse können in bestimmten Fällen für eine Deklarationsanalyse genutzt werden.

Eine Abfalleinstufung mit vorliegenden Erkundungsergebnissen ist nur unter folgenden Randbedingungen zulässig:

- Es handelt sich um einen weitgehend ungestörten Schichtenaufbau.
- Die Entsorgungswege der kontaminierten Materialien (separat ausgebaute hot-spots) wurden anhand der Maximalwerte ausgewählt.
- Es findet eine organoleptische Kontrolle bei dem Ausbau statt.
- Für jeweils 1000 m³ Bodenmaterial (Schüttmenge) liegen mindestens vier Laborproben vor.
- Die Schichten wurden getrennt beprobt.
- Von jeder Schicht mit unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung liegen mindestens zwei Probenergebnisse vor (ermittelt aus Mischproben im Sinne der LAGA PN 98).
- Das Größtkorn ist bekannt und der Durchmesser des Probenahmegerätes beträgt mindestens das Dreifache des D95 Kornes.
- Der Schichtaufbau wurde mit mindestens einem Schurf nachgewiesen, der alle zu entsorgenden Schichten umfasst.

Vorhandene Analysenergebnisse (z.B. aus Rammkernsondierungen) können wie folgt verwendet werden: Vier benachbarte Einzelproben der jeweils gleichen Schicht können rechnerisch (Mittelwertbildung) zu einer Mischprobe im Sinne der LAGA PN 98 zusammengefasst werden.

5 Bodenluf terkundung

5.1 Allgemeines, Zielsetzung

Bei der Untersuchung von Altablagerungen, Altstandorten und Schadensfällen ist die Bodenluf terkundung bei folgender Zielsetzung einsetzbar:

- Abschätzung von Gefährdungen durch den Austrag gas- und dampfförmiger Schadstoffe aus dem Boden (Explosionsgefahr durch Deponiegas (CH_4), Erstickungsgefahr, Gesundheitsgefährdung durch toxische Stoffe, z.B. Benzol).
- Grobabgrenzung von Boden- und Grundwasserkontaminationen, die durch leichtflüchtige Stoffe verursacht sind.

Bei orientierenden Untersuchungen auf Altablagerungen sind in der Regel Untersuchungen bezüglich Deponiegasen und leichtflüchtigen Schadstoffen vorzunehmen (Anhang 1, Nr. 1.1 BBodSchV).

Unter Bodenluft versteht man nicht nur die im Boden natürlicherweise enthaltenen Gase sondern alle im Untergrund sich in gasförmigem Zustand befindlichen Stoffe, insbesondere auch die in künstlichen Hohlräumen enthaltenen Gase und Dämpfe. Die Bodenluft ist Teil der Wirkungspfade Boden→Bodenluft→Mensch, Boden→Bodenluft→Grundwasser und Grundwasser→Bodenluft→Mensch.

Eine spezielle Form der Bodenluft stellt das sogenannte Deponiegas dar. Unter Deponiegas versteht man die in einer Deponie/Altablagerung durch mikrobiellen Abbau entstehenden Gase. Dazu gehören als Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid.

Primär spielt die Bodenluft als Transport- und Ausbreitungsmedium in gut durchlässigen Böden (z.B. sandige Kiese) und untergeordnet in Auflockerungszonen und geklüftetem Fels eine Rolle. Aber auch in schlecht durchlässigen, bindigen Böden (Schluff, Ton) kann z.B. über Schrumpfrisse ein relevanter Gastransport erfolgen.

Für die Bodenluf terkundung sind Substanzen mit einem vergleichsweise hohen Dampfdruck, einem Siedepunkt bis etwa 180 °C und einer schädlichen Wirkung auf Mensch und Umwelt bedeutsam. Die häufigsten Schadstoffe lassen sich in die in Tabelle 11 aufgeführten Klassen unterteilen.

Die für die Verteilung von Stoffen im Untergrund relevanten Prozesse sind in Abbildung 18 schematisch dargestellt. Im Allgemeinen liegt die größte Menge der leichtflüchtigen Schadstoffe im Boden kondensiert bzw. adsorbiert an der Festsubstanz (organisches Material, Tonpartikel) vor. Für die wesentlichen Bestandteile von Deponiegas ist in der Regel die Sorption an der Festsubstanz zu vernachlässigen.

Die Desorption von der Festsubstanz sowie die Verdampfung aus der flüssigen und gelösten Phase bestimmt die Konzentration in der Bodenluft. Die meisten dampfförmigen Komponenten in der Bodenluft haben deshalb ihre höchsten Konzentrationen in Bereichen der höchsten Bodenbelastungen.

Im Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone (Kapillarraum) können Schadstoffe aus der Bodenluft ins Grundwasser übergehen und umgekehrt. Deshalb können auch Grundwasserkontaminationen durch Bodenluftuntersuchungen ermittelt werden. Es gibt jedoch keinen einfachen allgemein gültigen Zusammenhang zwischen den Konzentrationen in Bodenluft und Grundwasser bzw. in Bodenluft und Feststoff. Damit ist die Bodenluf terkundung lediglich zum Erkennen und größenordnungsmäßigen Abschätzen einer Grundwasser- oder Bodenbelas-

Ziele

Bodenluft

Deponiegas

Gastransport

Relevante Substanzen

Verteilung im Untergrund

Übergang Bodenluft - Grundwasser

Tab. 11: Übersicht über die für eine Bodenlufterkundung relevanten Schadstoffe und deren hauptsächlichliche Verwendung und Auftreten

Schadstoffe	Verwendung	Auftreten
Deponiegas, z.B. CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S, NH ₃	—	Altablagerung
leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW), z.B. Tri-, Tetrachlorethen	Lösungsmittel, Reinigungsmittel	Altablagerung Altstandort ¹
einkernige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol und C ₁ -C ₂ alkylierte)	Lösungsmittel, Kraftstoffkomponente	Altablagerung Altstandort ¹
aliphatische Kohlenwasserstoffe (C ₅ -C ₁₀)	Rohöl, Mineralölprodukte, Vergaserkraftstoff, Lösungsmittel	Altablagerung Altstandort ¹
leichtflüchtige Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)	Treib-, Kälte- und Reinigungsmittel	Altstandort Altablagerung
niederchlorierte und -nitrierte aromatische Verbindungen (z.B. Chlorbenzol, Chlortoluol, Nitrotoluol)	chem. Industrie (Zwischenprodukte), Lösungsmittel, Additive	Altstandort ¹
Phenole, z.B. Kresole	chem. Industrie (Grundstoff)	Altstandort ¹
Quecksilber	chem. Industrie	Altstandort ¹

¹ Die genannten Schadstoffe können ebenfalls bei Schadensfällen im Sinne dieses Handbuches auftreten

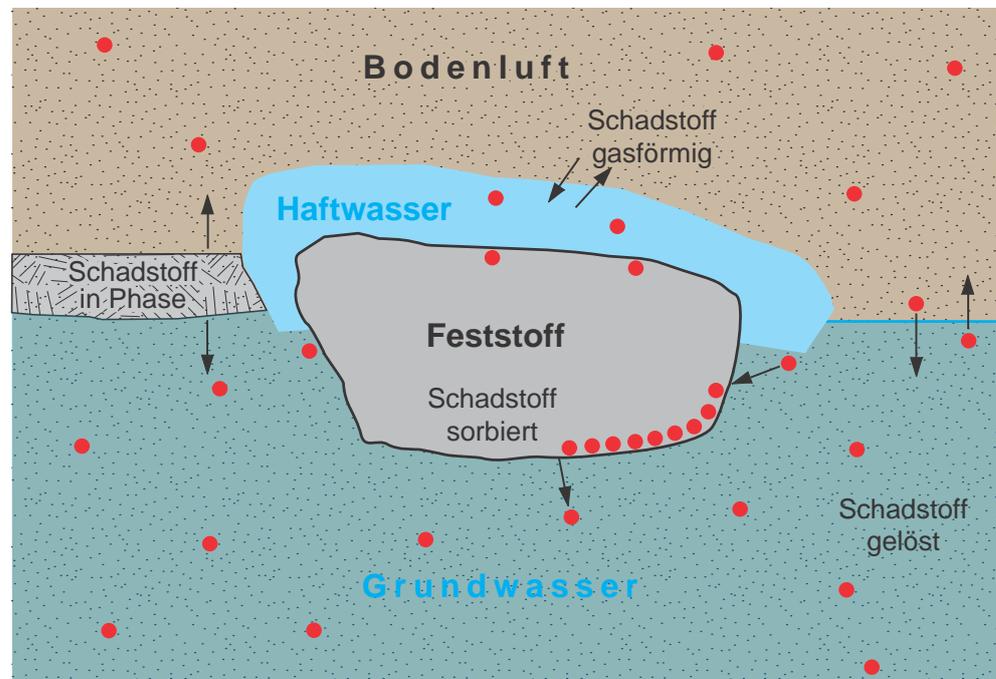


Abb. 18
Schadstoffverteilung zwischen fester, flüssiger und gasförmiger Phase

tung geeignet. Eine Quantifizierung des Schadstoffpotenzials ist nur ergänzend durch direkte Grundwasser- oder Bodenuntersuchungen möglich. Bei der Entnahme von Bodenproben zur Untersuchung auf leichtflüchtige Schadstoffe ist hohe Sorgfalt erforderlich, um größere Verluste durch Verflüchtigung zu vermeiden bzw. zu minimieren (vgl. Kap. 4.4).

Die Bodenluftuntersuchung als einziges Erkundungsverfahren ist nicht geeignet, die Gesamtkontamination eines Standortes zu ermitteln. Ergebnisse von Bodenluftuntersuchungen sind wegen der Abhängigkeit von lokalen Gegebenheiten und der Wahl des Probennahmeverfahrens auch nicht quantitativ, sondern als Relativwerte zwischen den einzelnen Entnahmestellen zu bewerten. Deshalb ist es erforderlich, jeweils das gleiche Entnahmeverfahren für einen Standort anzuwenden (VDI 3865-2).

Der Transport gas- und dampfförmiger Schadstoffe im Boden erfolgt durch Advektion und Diffusion. Unter **Advektion** versteht man den Stofftransport als Folge von Strömungen in der Bodenluft aufgrund von Druckunterschieden. Diese haben ihre Ursache in der Gasproduktion in Altablagerungen, Luftdruckschwankungen, Temperaturunterschieden, Schwankungen der Grundwasseroberfläche und Versickern von Niederschlag. Unter **Diffusion** versteht man die Ausbreitung von Stoffen aufgrund von Konzentrationsunterschieden. Die Diffusion sorgt stets für einen Stofftransport aus höher belasteten Bereichen in weniger bzw. nicht belastete Bereiche. Diffusionskoeffizienten nehmen mit steigender Temperatur zu und mit steigender molarer Masse der betrachteten Substanz ab.

Der Umfang des gas- und dampfförmigen Stofftransports im Boden (Advektion und Diffusion) wird im wesentlichen von der Durchlässigkeit des Bodens bestimmt. In Analogie zur hydraulischen Durchlässigkeit hängt die sogenannte Gas-Permeabilität hauptsächlich von der Korngrößenverteilung, der Struktur des Bodenmaterials, der Lagerungscharakteristik, der Porengröße und -form und dem Wassergehalt ab. Als zeitlich variable Größe hat der Bodenwassergehalt den größten Einfluss auf die Durchlässigkeit. Insbesondere können starke Regenereignisse sowie das Ansteigen der Grundwasseroberfläche eine deutliche Verminderung der Durchlässigkeit bewirken.

Unterschiede in der Ausbreitung der verschiedenen organischen Verbindungen resultieren aus Unterschieden der physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften (Löslichkeit in Wasser, Dichte, Viskosität, Dampfdruck und Wechselwirkung mit den festen Bodenbestandteilen).

5.2 Erkundungskonzept

Das Konzept für eine Bodenlufterkundung muss sich stets am Bodenerkundungskonzept orientieren. Die Bodenluftentnahme sollte daher an den Sondierpunkten der Bodenerkundung erfolgen, um eine Bewertung der Ergebnisse unter Berücksichtigung des Untergrundaufbaus zu ermöglichen. Bei der Erstellung des Erkundungskonzeptes sind insbesondere die folgenden Punkte festzulegen bzw. zu berücksichtigen (VDI 3865-1):

- Lage und Anzahl der Messstellen
- Parameterumfang, Feldparameter

Untersuchungsziele
und Aussagekraft

Gas- und Stoff-
transport

Einflüsse auf die
Gas-Durchlässigkeit
des Bodens

gemeinsames
Konzept für Boden
und Bodenluft

- Art der Messstellen, Ausbaumaterialien
- Randbedingungen für Feldarbeiten (z.B. Jahreszeit).

Im Folgenden werden diese Teilschritte im Einzelnen erläutert.

5.2.1 Lage und Anzahl der Messstellen

Bei der Planung der Lage und Anzahl der Bodenluftmessstellen sind vor allem folgende Kriterien entsprechend ihrer Bedeutung am Standort zu berücksichtigen:

- Nutzung (frühere, derzeitige, eventuell geplante Nutzung): Aus der früheren und derzeitigen Nutzung können Hinweise auf Hauptbelastungsbereiche und zu erwartende Schadstoffe abgeleitet werden.
- Bebauung, Oberflächenversiegelung: Da sich z.B. unter einer Bodenplatte eines Gebäudes oder in der Schottertragschicht einer Oberflächenversiegelung Schadstoffe in der Bodenluft anreichern können, ist die Messung an einem solchen Punkt geeignet, evtl. vorhandene Schadstoffe in der Bodenluft zu erfassen. Die Herkunft der Schadstoffe (Schadstoffquelle) ist jedoch genauer zu ermitteln.
- Bewuchs: Der Bewuchs kann Hinweise auf Schadstoffe im Boden liefern (z.B. unterschiedliche Bewuchsdichte, geschädigte Pflanzen). Mehrjähriger Bewuchs kann anzeigen, wann zum letzten Mal die Bodenoberfläche künstlich verändert wurde.
- Erkennbare Schäden an Gebäuden: Setzungsschäden an Gebäuden wie Risse in Wänden, Fußböden oder Fundamenten können Hinweise auf Altablagerungen oder mögliche Schadstoffwegsamkeiten im Untergrund bei Altstandorten liefern.
- Geländeform: Die Geländeform kann Hinweise auf im Untergrund vorhandene Altablagerungen geben.

Kriterien für die Platzierung von Messstellen

räumliche Repräsentanz

Da sich gasförmige Stoffe im Boden ausbreiten, besitzt eine Bodenluftprobe in der Regel eine größere räumliche Repräsentanz als eine Bodenprobe. Der Repräsentanzbereich einer Bodenluftprobe (vertikal, horizontal) und damit auch der festzulegende Messpunktabstand hängt wesentlich von der Gasdurchlässigkeit und Zusammensetzung des Untergrundes und der Art der Probennahme ab (Kapitel 5.4).

Anordnung von Bodenluftmessstellen

Es gibt drei mögliche Vorgehensweisen, die Lage der Messstellen zu planen:

- Orientierung an den aus der Historischen Erkundung ermittelten Hauptschadensbereichen
- Rasterförmige Verteilung über das Gelände oder
- Kombination der beiden erstgenannten Vorgehensweisen.

Ermittlung des maximalen Gefährdungspotenzials

Die Orientierung auf **Hauptschadensbereiche** innerhalb des Untersuchungsgebietes ist insbesondere bei der orientierenden Untersuchung von Altstandorten sinnvoll. Bei diesem Vorgehen werden in der Regel nur die Bereiche eines Standortes in die Untersuchung einbezogen, für die sich aus der Historischen Erkundung ein Kontaminationsverdacht ergeben hat. Andere möglicherweise ebenfalls kontaminierte Teilbereiche werden dabei nicht erfasst. Durch dieses Vorgehen ist es möglich, jeweils die zu erwartende Höchstbelastung bzw. das zu erwartende größte Gefährdungspotenzial zu erkunden. Außerdem kann damit die Anzahl der für eine Untersuchung erforderlichen Messstellen optimiert werden.

Eine **rasterförmige Anordnung** der Messstellen auf einem Untersuchungsgelände erfolgt üblicherweise in Abhängigkeit von der Größe des Untersuchungsgeländes sowie der derzeitigen Bebauung, Nutzung und Geländeform (VDI 3865-1).

Als Richtgröße kann ein Raster von 20 m x 20 m (25 Messpunkte je ha) bis etwa 50 m x 50 m (vier Messpunkte je ha) je nach Untergrundbeschaffenheit angesehen werden. Je höher die Durchlässigkeit des Bodens ist, desto größer kann das Untersuchungs-raster gewählt werden.

Der Vorteil einer rasterförmigen Anordnung der Messpunkte liegt in der Möglichkeit, das Untersuchungsgelände flächendeckend zu bewerten und eine Grobeingrenzung von Schadensbereichen innerhalb des gewählten Punktrasters zu ermöglichen. Ein Nachteil ist der vergleichsweise große Aufwand im Rahmen einer orientierenden Untersuchung. Nähere Erläuterungen und verschiedene Rasterarten sind in VDI 3865, Blatt 1, dargestellt.

Bei der **Kombination** einer auf Hauptschadensbereiche orientierten Strategie und der rasterförmigen Beprobung der restlichen Untersuchungsflächen können die Vorteile beider Verfahren vereinigt werden. Durch dieses kombinierte Verfahren ist es möglich, eine Grobeingrenzung der Schadensbereiche durchzuführen sowie die Anzahl der erforderlichen Messpunkte zu optimieren. Bei dieser Vorgehensweise zur Auswahl der Messpunkte ist jedoch eine gute Vorkenntnis der Nutzung und der geologischen und hydrogeologischen Standortssituation erforderlich.

Zur Verbesserung der Bewertungsgrundlage sollte eine Messstelle zur Bestimmung der Hintergrundbelastung am Standort eingerichtet werden, wenn eine Möglichkeit der Platzierung gegeben ist.

5.2.2 Parameterumfang

Die Festlegung der zu untersuchenden Analysenparameter richtet sich vor allem nach den Ergebnissen aus der Historischen Erkundung. Bei der Auswahl der zu untersuchenden Parameter sind die im Labor zu analysierenden Einzelsubstanzen und die vor Ort zu messenden Parameter, die sogenannten Feldparameter wie z.B. O₂, CO₂, CH₄ festzulegen.

Tab. 12: Untersuchungsprogramm Bodenluft Altablagerung - diffuser Verdacht

Standardparameter
CO ₂ (Kohlendioxid)
O ₂ (Sauerstoff)
CH ₄ (Methan)
LHKW (leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe)
BTEX (aromatische Kohlenwasserstoffe)
leichtflüchtige aliphatische Kohlenwasserstoffe
Verdachtsparameter sind zu ergänzen

**Vor-Ort-Messung
der Feldparameter**

Vor-Ort-Messungen sind als selektive Messungen einzelner Parameter (z.B. CO₂, O₂, CH₄) und als Summenmessungen der photoionisierbaren bzw. flammenionisierbaren Substanzen (PID- und FID-Messungen) möglich. Zur Durchführung von orientierenden, halbquantitativen Untersuchungen sind direkt anzeigende Prüfröhrchen für zahlreiche Substanzen erhältlich. Vor deren Einsatz ist jedoch zu prüfen, ob die erreichbare Nachweisgrenze für eine spätere Bewertung ausreicht. Im Allgemeinen sind diese direktanzeigenden Prüfröhrchen nur geeignet, die ungefähre Ausdehnung einer relativ hohen Bodenluftkontamination bekannter Zusammensetzung festzustellen, wenn keine relevante Querempfindlichkeit auftreten kann.

**Parameterumfang
für Altablagerungen**

Der Standardparametersatz für Altablagerungen bzw. Flächen mit diffusem, nicht stoffspezifischem Verdacht auf Bodenluftkontamination ist in Tabelle 12 dargestellt.

Der Standardparametersatz kann um sogenannte Verdachtsparameter erweitert werden. Damit sollen Substanzen erfasst werden, für deren Vorkommen es Anhaltspunkte aus der Historischen Erkundung der Altablagerung oder anderen Informationsquellen gibt. Sind keine speziellen Verdachtsparameter zu ermitteln, erfasst man die Kontamination am besten mit einer GC-FID-Übersichtsanalyse (Screening). In speziellen Fällen können u.U. gezielt weitere Stoffgruppen wie 2-Ring-Aromaten oder Quecksilber in der Bodenluft analysiert werden.

Altstandorte

Bei der Untersuchung von Altstandorten ist es in der Regel ausreichend, sich auf die Untersuchung von Verdachtsparametern zu beschränken, soweit Vornutzung und Stoffspektrum aus der Historischen Erkundung bekannt sind.

5.2.3 Messstellenbau

Je nach den Randbedingungen der durchzuführenden Untersuchung können temporäre oder stationäre Messstellen bzw. Über- oder Unterflurausbauten erforderlich sein (vgl. Kap. 5.3).

**Empfehlungen für
die Planung von
Messstellen**

Generell sind bei der Planung der Bodenluftmessstellen folgende Empfehlungen zu berücksichtigen:

- Im Rahmen von Ersterkundungen werden i. Allg. temporäre Messstellen errichtet. Bei vertiefenden Erkundungen bzw. wenn ein Bodenluftabsaugversuch oder eine spätere Bodenluftsanierung möglich erscheint, sollten ausreichend dimensionierte stationäre Messstellen errichtet werden.
- Auf öffentlich zugänglichen Flächen oder innerhalb von Betriebsflächen ist bei der Einrichtung von stationären Messstellen stets ein Unterflurausbau die günstigere Variante.
- Der Sondierdurchmesser sollte zwischen 36 mm und 70 mm liegen. Der zu wählende Durchmesser hängt von der erforderlichen Probenmenge für eine begleitende Bodenuntersuchung ab (vgl. Kapitel 4). Sind keine Bodenproben zu entnehmen, ist ein Durchmesser von 36 mm ausreichend.
- Die Sondiertiefe beträgt in der Regel 2 m. Einschränkend ist hierbei die Lage des Grundwasserspiegels zu beachten (Kap. 5.2.4). Die Mindesttiefe für eine sinnvolle Bodenluftuntersuchung beträgt 1 m. Der Mindestabstand zur Grundwasseroberfläche sollte ebenfalls 1 m betragen. Bei der flächenhaften Erkundung muss stets im gleichen Abstand zur Grundwasseroberfläche sondiert werden.
- Eine Bodenansprache zur Bewertung der Zuverlässigkeit und Repräsentanz sowie zur Interpretation der Analysenergebnisse ist immer erforderlich.

Gebräuchliche Materialien für den Messstellenausbau sind HDPE und PVC. Vorteil dieser Materialien ist die gute Handhabbarkeit und relativ geringe Kosten. Sie haben jedoch den Nachteil, dass sie mit einigen Schadstoffen eine Wechselwirkung eingehen können und z.B. bei Vorliegen von CKW in Phase nicht dauerhaft beständig sind. Stahl- und Edelstahlrohre sind gegen organische Schadstoffe und gegen bodenmechanische Einflüsse weitgehend beständig und minimieren die Beeinflussung der Ergebnisse. Sie sind jedoch korrosionsanfällig, schwieriger zu handhaben und in der Regel teurer als Kunststoffrohre.

**gebräuchliche
Materialien zum
Messstellenausbau**

5.2.4 Randbedingungen der Probennahme

Für das Niederbringen von Sondierbohrungen im Rahmen der Bodenlufterkundung sind die unter Kapitel 4.3 „Aufschlussarten“ beschriebenen Randbedingungen zu beachten.

Aufgrund der verschiedenen Einflussgrößen, Randbedingungen und Zielstellungen ist es nicht möglich, ein einziges, definiertes Probennahmeverfahren zu empfehlen. Vielmehr ist bei der Planung der Erkundungsmaßnahme die jeweils geeignetste Kombination aus Bodenluftsonde, Probennahmetechnik und Analysenmethode zu wählen. Als Hilfestellung dazu dient die VDI-Richtlinie 3865 (Blatt 2, Blatt 3 und Blatt 4).

**unterschiedliche Pro-
bennahmeverfahren
sind einsetzbar**

Für die Bewertung der Ergebnisse aus der Bodenlufterkundung ist stets die Gesamtheit aller verfügbaren Informationen zu berücksichtigen und zu bewerten. Daher sind die Untersuchungen so durchzuführen, dass die Vergleichbarkeit von Einzelmessungen und die Repräsentanz für die entsprechende Fragestellung so gut wie möglich gewährleistet sind. Dies kann z.B. durch die folgenden Einflussfaktoren eingeschränkt werden:

**Einflussgrößen bei
der Probennahme**

- **Wetter:** Insbesondere Niederschlagsereignisse, aber auch extrem niedrige Temperaturen (Frost) können die Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft bei der Probennahme so beeinflussen, dass die Messungen kein repräsentatives und zeitlich zusammenhängendes Bild ergeben. So ist z.B. bei einer gegenüber der Bodentemperatur deutlich niedrigeren Außentemperatur mit einer Kondensation der Schadstoffe an den kalten Teilen der Entnahmeapparatur zu rechnen. Dies führt zu einer Fehlinterpretation der Ergebnisse. Unter solchen Randbedingungen darf keine Bodenluftprobennahme stattfinden. Optimale Bedingungen sind gegeben, wenn die Außenlufttemperatur mindestens 5 Grad über der Bodentemperatur liegt.
- **Oberirdische und unterirdische Bauwerke:** Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Einzelergebnissen ist zu beachten, dass Leitungs- und Kanalgräben als Gasdrainage wirken können. Die im Bereich von Leitungs- und Kanalgräben ermittelten Konzentrationen können deutlich beeinflusst sein. Das gleiche gilt für Messungen in der Nähe von Fundamenten, Straßen oder Oberflächenversiegelungen bzw. Oberflächenverdichtungen.
- **Grundwasseroberfläche:** Die Tiefe einer stationären Messstelle ist so zu wählen, dass auch bei saisonal bedingten Grundwasserhochständen eine Probennahme möglich ist. Außerdem sollte eine Messstelle nicht in den Kapillarraum reichen, um ein Ansaugen von Wasser zu vermeiden, da dies zu verfälschten Analyseergebnissen sowie zu Störungen und Ausfall der Probennahmeausrüstung führen kann.

Je nach Probennahmeverfahren ist ggf. eine Modifikation der o.g. Verfahrensschritte erforderlich (VDI 3865-2).

Die Erstellung von Sondierbohrungen wird in Kapitel 4.3 ausführlich beschrieben. Im Folgenden wird auf die daran anschließende Bodenluftprobennahme eingegangen.

Die Bodenluftsonde besteht aus einer Rammspitze, Gaseintrittsöffnungen zur Probennahme, ggf. einer Einrichtung zur Anbringung von Sensoren z.B. für Temperatur und Gasfeuchtemessungen, einer Sondenstange mit Verlängerungsmöglichkeiten und einem Sondenkopf mit Anschlussmöglichkeiten für Messgeräte und Probennahmearrichtungen.

Aufbau Bodenluftsonde

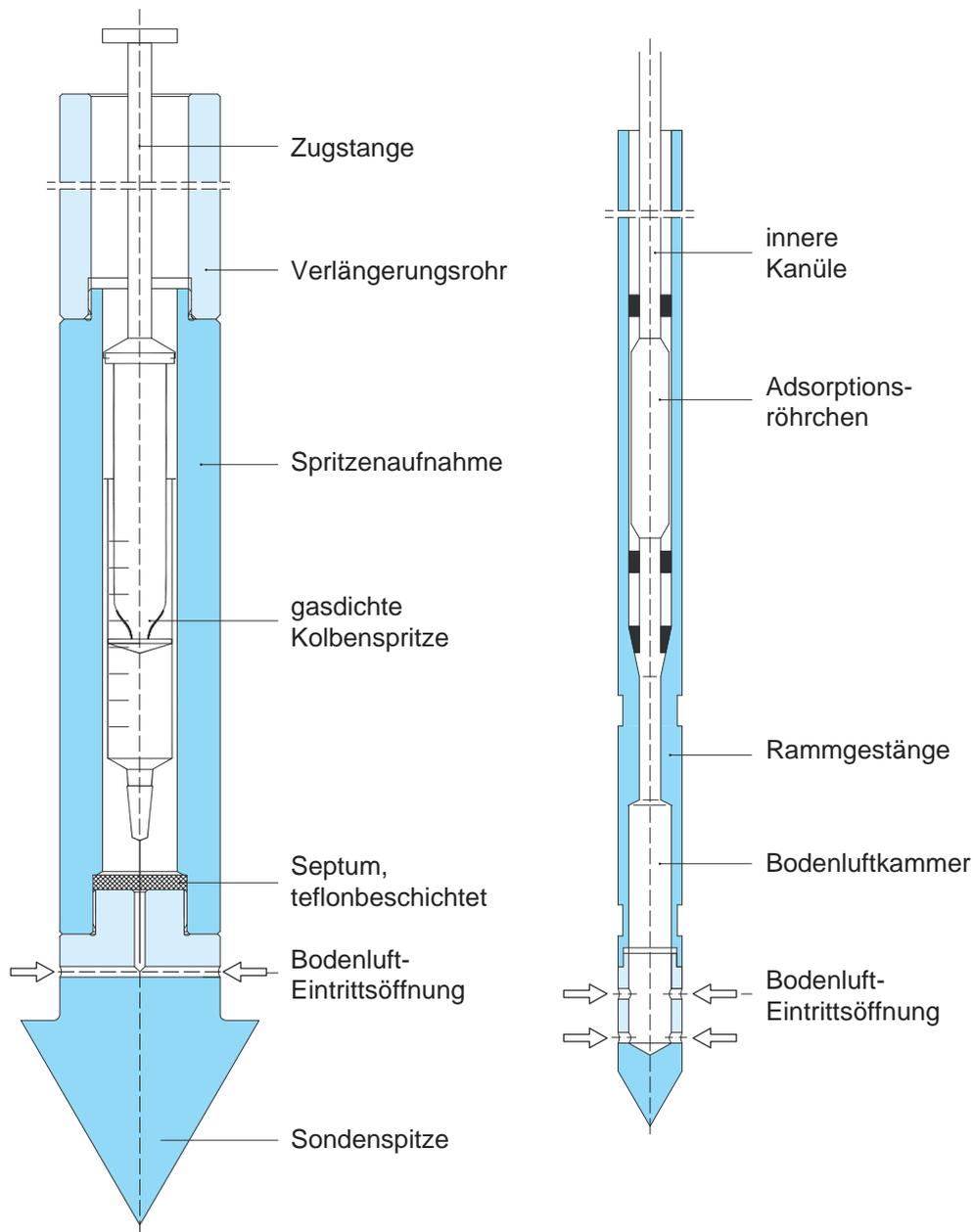


Abb. 20
Bodenluftsonde zur Direktentnahme und Bodenluftsonde zur Anreicherung auf Adsorptionsröhrchen (LÖFFELHOLZ 1989)

Bodenluftsonden sind in vielfältigen Varianten auf dem Markt erhältlich. In den Abbildungen 19 und 20 sind einige Beispiele für Sonden und Details angegeben. Die Sonden bestehen in der Regel aus Edelstahl oder Kunststoff. Die Wahl der geeigneten Bodenluftentnahmesonde richtet sich primär nach dem Messziel und kann anhand der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2, ausgewählt werden.

Abdichtung

Nachdem die Sonde eingebaut ist, muss das Bohrloch an der Geländeoberkante gegen den Zutritt atmosphärischer Luft abgedichtet werden. Zur Abdichtung der Bodenluftsonden gegenüber dem Untergrund kommen quellfähige Tonmaterialien und Bentonitaufschlämmungen in Frage. Die Anwendung von quellfähigen Tonen ist in der Praxis einfach und daher weit verbreitet.

Spülen des Bohrlochs

Durch die Sondierbohrung und den Einbau der Sonde ist die Bodenluft in unmittelbarer Umgebung der Messstelle beeinflusst. Um einigermaßen ungestörte Bedingungen wieder herzustellen, müssen Bohrloch und Sonde ausreichend gespült werden (Ausnahme: Kleinmengenentnahme). Eine Methode zur Abschätzung des zu spülenden Volumens ist in Kap. 5.4.1 beschrieben. Nach ausreichender Spülung ist davon auszugehen, dass die Bodenluftprobe aus den anstehenden Bodenschichten stammt. Die exakte Position der Öffnung der Probennahmesonde und der Abstand der Sonde zur Bohrlochwand sind dann wegen der über das Bohrloch integrierenden Wirkung des Spülvorgangs nicht mehr bestimmend für die Repräsentanz der Ergebnisse.

horizontierte Probennahme

Sonden mit einer Möglichkeit zur Kleinmengenentnahme im Bohrlochtiefsten können in Fällen eingesetzt werden, bei denen eine gezielte räumliche Aussage (z.B. genaue Tiefenlage einer Verunreinigung) erforderlich ist. Für die gezielte Beprobung einzelner Bodenschichten (horizontierte Probennahme) sollte entweder abschnittsweise (z.B. in 1-m-Schritten) tiefer gebohrt werden und die Probe jeweils aus dem Bohrlochtiefsten entnommen werden, oder die Proben sollten aus einer Serie nebeneinander liegender unterschiedlich tiefer Bohrlöcher entnommen werden.

Fehlerquellen

Wenn zur Probennahme größere Luftvolumina gefördert werden, wie z.B. bei Anwendung des XAD-Harz-Verfahrens, ist das Abdichten der Bodenluftsonde ein sehr sensibler Punkt. Eine Zumischung von atmosphärischer Außenluft über unzureichende Abdichtungen ist dabei die häufigste Ursache für nicht repräsentative bzw. falsche Bestimmungen der Bodenluftkonzentration. Dies kann für die Bewertung der Ergebnisse von entscheidender Bedeutung sein, da durch eine Zumischung von Außenluft stets zu niedrige Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft vorgetäuscht werden.

Wenn wesentlich kleinere Volumina als das Bohrlochvolumen aus dem Bohrlochtiefsten bei geringem Unterdruck gezogen werden (Kleinmengenentnahme), ist die Gefahr der Zumischung von Außenluft deutlich geringer. Sofern sich am Bohrlochtiefsten Nachfall aus der Bohrlochwand befindet, liefert diese Methode allerdings weder eine für das Bohrlochtiefste noch für das gesamte Bohrloch repräsentative Probe, da die Herkunft der gesammelten Gase in diesem Fall undefiniert ist.

Verschluss der Sondierbohrung

Nach Entfernen der Bodenluftsonde ist die Sondierbohrung mit nicht kontaminiertem Material zu verfüllen und fachgerecht zu verschließen. Ggf. ist die Oberflächenversiegelung so gut wie möglich wieder herzustellen. Kontaminiertes Bohrgut ist fachgerecht zu entsorgen.

5.3.2 Stationäre Messstellen

Stationäre Bodenluftmessstellen unterscheiden sich von den unter Kapitel 5.3.1 beschriebenen temporären Messstellen durch einen dauerhaften Einbau. Abbildung 21 zeigt den Ausbau einer stationären Bodenluftmessstelle.

Der Ausbau einer stationären Bodenluftmessstelle entspricht prinzipiell dem einer Grundwassermessstelle (vgl. Kapitel 3.3). In der Regel ist der Bohrdurchmesser größer als bei der temporären Bodenluftmessstelle. Die Durchmesser von Rammkernsondierungen sollten standardmäßig bei mindestens 50 mm (handgebohrt) bis etwa 70 mm

Ausbau stationärer Messstellen

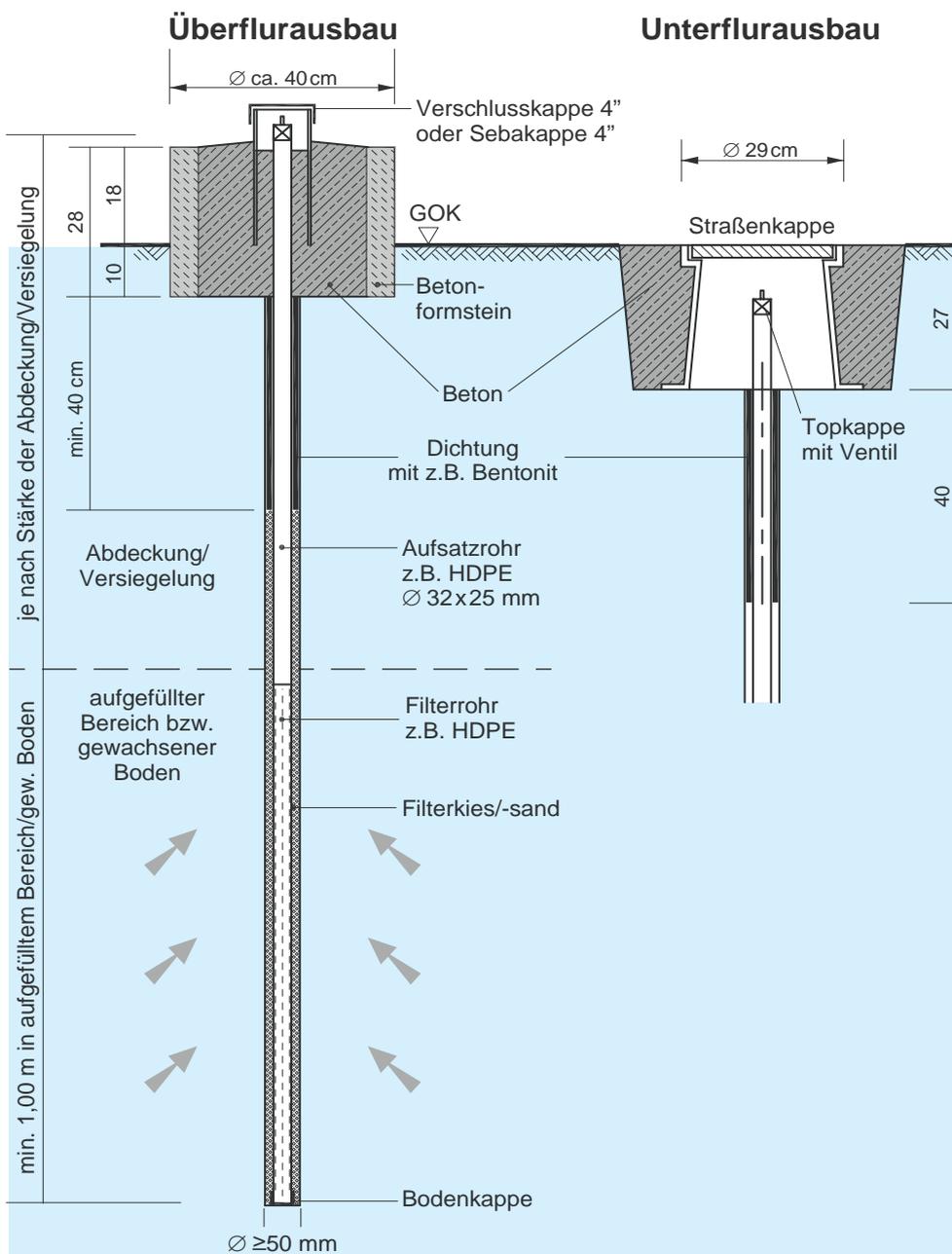


Abb. 21
Ausbau einer stationären
Bodenluftmessstelle

(maschinell gebohrt mit leichtem Gerät) liegen. Für stationäre Messstellen werden meist Vollrohre und Filterrohre aus HDPE verwendet. Die Rohrdurchmesser sollten zwischen DN 25 und DN 50 liegen.

Die Bodenluftmessstelle muss am oberen Ende verschließbar sein und mit einer Anschlussmöglichkeit für Probennahmeeinrichtungen ausgestattet sein.

Bei der Verfüllung des Ringraums mit Filterkies oder -sand ist zu beachten, dass möglichst keine Hohlräume im Bereich der Filterstrecke zurückbleiben. Dies kann zu Verfälschungen der Schadstoffkonzentrationen der abgesaugten Bodenluft führen und durch spätere Setzungen Undichtigkeiten in der Abdichtung hervorrufen. Analog zu den temporären Messstellen ist bei den stationären Messstellen die Abdichtung der Bodenluftsonden gegenüber der Außenluft der sensibelste Punkt des Messstellenausbaus.

Sollen Bodenluftproben aus unterschiedlichen Tiefenbereichen entnommen werden, z.B. ober- und unterhalb eines Tonhorizontes, sind mehrere Messstellen in jeweils separaten Bohrlöchern erforderlich.

Gasbrunnen

Eine spezielle Form einer stationären Bodenluftmessstelle stellt der sogenannte Gasbrunnen dar. Hierunter versteht man eine stationäre Bodenluftmessstelle, die für Bodenluftabsaugversuche bzw. für Bodenluftabsaugungen im Rahmen von Sanierungen geeignet ist. Die Durchmesser von Gasbrunnen sind im Allgemeinen größer als bei den herkömmlichen stationären Messstellen und sollten mindestens DN 50 betragen. Die Verschlusskappe sollte das Anbringen eines Flansches zum Anschluss einer Absauganlage ermöglichen.

5.4 Probennahme

5.4.1 Spülung der Messstelle vor der Probennahme

Abschätzung des zu spülenden Luftvolumens

Konventionell wird sofort nach dem Einrichten der Messstelle und vor jeder Beprobung das Totvolumen abgepumpt (Bohrlochspülung). Das zu spülende Luftvolumen hängt vom Bohrdurchmesser und der Bohrtiefe ab. Es kann nach folgender Formel abgeschätzt werden:

$$V = 3 \cdot \pi \cdot d^2 / 4 \cdot L$$

wobei d der Bohrdurchmesser und L die Bohrlochtiefe bedeutet. Der Faktor 3 beschreibt den 3fachen Austausch des Bohrlochvolumens.

Um eine von Außenluft möglichst unbeeinflusste Gaszusammensetzung der Bodenluft im Bereich der Messstelle zu erreichen, ist z.B. bei einem Bohrdurchmesser von 36 mm und einer Bohrtiefe von 2 m ein Volumen von ca. 6 Liter abzupumpen. Dies sollte mit geringerer Förderrate als bei der eigentlichen Bodenluftprobennahme erfolgen.

Die dargestellte Möglichkeit zur Abschätzung der erforderlichen Spülvolumina zur Minimierung der Einflüsse auf die Bodenluftkonzentration durch die Probennahmetechnik kann als Hilfsmittel zur Planung der Probennahme genutzt werden. Es ist jedoch stets zu beachten, dass die Probennahme unter reproduzierbaren Bedingungen (immer gleiche Spülvolumina, gleiche Förderraten usw.) erfolgt. Nur so ist die notwendige Vergleichbarkeit von Einzelergebnissen erreichbar und eine wesentliche Grundlage für die Bewertung eines Untersuchungsgebietes gegeben.

5.4.2 Feldmessungen

Für eine Sofortbewertung, für die Vermeidung von störenden Einflüssen durch Probenahme, -handhabung, -transport und -aufbereitung und die Kenntnis der allgemeinen Bodenluftverhältnisse sind Feldmessungen notwendig. Für die folgenden Parameter existieren Feldmessgeräte, die nach den jeweils angegebenen Messprinzipien funktionieren:

- Kohlendioxid: IR-Photometrie
- Methan: IR-Photometrie¹ nach katalytischer Verbrennung
- Sauerstoff: Paramagnetismus-Messung.

Die Kohlendioxidkonzentration liegt in der Atmosphäre bei ca. 0,04 Vol.-%, in der Bodenluft in einem typischen Schwankungsbereich von 0 bis ca. 5 Vol.-% und im Deponiegas bis max. ca. 70 Vol.-%. Methan liegt in der Atmosphäre und in der Bodenluft meist nur in Spuren vor (ca. 0,002 Vol.-%), während im Deponiegas Konzentrationen bis ca. 70 Vol.-% vorkommen können (VDI-Richtlinie 3790-2). Der Sauerstoffgehalt liegt in der Atmosphäre bei ca. 21 Vol.-% und kann in der Bodenluft zwischen 0 und 21 Vol.-% betragen.

Die o.g. Gase sollen bei Altablagerungen standardmäßig bei der Bodenluftbeprobung bestimmt werden. Bei Altablagerungen, an denen große Mengen organischer Abfälle abgelagert wurden, ist besondere Vorsicht angebracht, da Methan/Luftgemische bei Methan-Konzentrationen von 5-15 Vol.-% explosionsgefährlich sind.

Für die Messung organischer Spurengase (als Summenparameter) stehen Flammen- und Photoionisationsdetektoren (FID bzw. PID) zur Verfügung. Diese messen im Spurenbereich die Substanzmengen, die beim jeweiligen Anregungsverfahren (PID: UV-Licht definierter Wellenlänge; FID: Wasserstoff-Luft-Flamme) ionisierbar sind. Im Falle der Flammen-Ionisation sind dies alle organischen Verbindungen; im Falle der Photo-Ionisation nur bestimmte Substanzen, bevorzugt solche mit C-C-Doppelbindungen (z.B. Olefine und die chlorierten Ethene) und aromatische Systeme (z.B. BTEX-Aromaten). PID und FID erzeugen ein Summensignal, das ohne exakte Kenntnis der Gaszusammensetzung und entsprechende Kalibrierung des Gerätes nicht quantitativ ausgewertet werden kann. Das Summensignal gibt aber Hinweise für die Vorauswahl von Bodenluftproben für nachfolgende Analysen.

So kann man z.B. davon ausgehen, dass der Gehalt an photoionisierbaren Substanzen in der Bodenluft nicht nennenswert erhöht ist, wenn der Außenluftwert nicht um das zwei- bis dreifache überschritten wird. Gängiger Hintergrundwert bei der Atmosphärenmessung eines PID (10,2 eV-Lampe, kalibriert auf Iso-Buten) ist 0,4-0,5 ppm. Bodenluftmessungen mit PID-Anzeigen bis ca. 1,5 ppm liefern bei der Analyse i. Allg. nur vernachlässigbare Konzentrationen relevanter Kontaminanten.

In Spezialfällen können auch weitere Stoffe direkt vor Ort analysiert werden. Dazu ist der Einsatz von transportablen Gaschromatographen, eventuell kombiniert mit einem Massenspektrometer, erforderlich.

Direktanzeigende Prüfröhrchen können für halbquantitative Vor-Ort-Bestimmungen eingesetzt werden, wenn das Schadstoffspektrum bekannt und geeignet für eine solche Untersuchung ist. Dann kann der Einsatz von Prüfröhrchen zur Abgrenzung eines Schadens dienen.

Messung der
Feldparameter

Typische Konzen-
trationsbereiche
von CO₂, CH₄, O₂

Vorsicht bei Methan

Vor-Ort-Messgeräte
FID, PID

Direktanzeigende
Prüfröhrchen

¹ Achtung: querempfindlich gegenüber allen kohlenwasserstoffhaltigen, flüchtigen, gasförmigen Verbindungen

Vorteile der Feldmessmethode

Der Vorteil der Feldmessmethoden liegt darin, dass eine umgehende Einschätzung der räumlichen Ausdehnung des Schadens und ggf. eine Anpassung des Erkundungsprogramms möglich ist. Aus dem Vergleich der Feldparametermessung mit der Zusammensetzung atmosphärischer Luft bzw. den Konzentrationsbandbreiten typischer Bodenluft lassen sich evtl. Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit der Probennahme ableiten.

Varianten der Bodenluftprobennahme

5.4.3 Probennahmetechniken und Probenhandhabung

In der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2, sind die gängigen Probennahmetechniken und ihre Anwendungsbereiche beschrieben. Für Einzelheiten wird auf diese Richtlinie verwiesen, in der fünf Verfahrensvarianten unterschieden werden:

- Variante 1: Adsorption auf Aktivkohle bzw. Messung mit direktanzeigenden Prüfröhrchen, punktuell/horizontiert
- Variante 2: Adsorption auf Aktivkohle bzw. Messung mit direktanzeigenden Prüfröhrchen, integrierend über Bohrlochlänge
- Variante 3: Adsorption auf XAD-4-Harz, diffuser Tiefenbereich
- Variante 4: Kleinmengentnahme am Bohrlochtiefsten, punktuell/horizontiert
- Variante 5: Direktmessung, punktuell/horizontiert oder integrierend über die Bohrlochlänge

Kleinmengentnahme, Direktmethode

Es gibt zwei prinzipiell unterschiedliche Methoden zur Entnahme einer Bodenluftprobe. Zum einen kann die Probe ohne Anreicherung direkt entnommen und anschließend im Labor bzw. vor Ort analysiert werden (Kleinmengentnahme bzw. Direktmessung; Variante 4 bzw. 5). Dabei soll sich die Zusammensetzung und Konzentration der Substanzen gegenüber der ursprünglichen Bodenluft nicht verändern. Als Probennahmegefäße für Originalgasproben werden Gassammelgefäße verwendet. Dies sind Pasteurpipetten bzw. Septumgläser mit geeigneten Septen. Eine ausreichende und fachgerechte Spülung der Gefäße mit der Probenluft ist wichtig (VDI 3865-2).

Anreicherungsverfahren

Die andere Methode ist die Anreicherung der zu analysierenden Substanzen auf einem Trägermedium durch Adsorption. Bei dieser Methode wird ein definiertes Volumen der zu untersuchenden Bodenluft durch ein Adsorptionsmedium geleitet. Dabei erfolgt die Adsorption auf Aktivkohle bzw. es wird eine Messung mit einem direkt anzeigenden Prüfröhrchen durchgeführt (Varianten 1 und 2), oder es erfolgt eine Adsorption auf XAD-Harz (Variante 3). Aus einer Adsorptionsprobe können nur die auf dem Adsorber festgehaltenen und wieder im Labor desorbierbaren Substanzen bestimmt werden.

Adsorptionsröhrchen

Adsorptionsröhrchen wurden aus dem Bereich der Arbeitsschutzmesstechnik weiterentwickelt für die Anwendung in der Umweltanalytik. Die zunächst geschlossenen Röhrchen werden unmittelbar vor der Probennahme geöffnet und saugseitig zwischen Probennahmepumpe und Probennahmestelle installiert. Im Standardfall wird das Aktivkohleröhrchen mit einem Bodenluftvolumen von 1-5 l beaufschlagt. Um eine möglichst vollständige Adsorption zu gewährleisten, wird das Gas mit relativ niedriger und konstanter Durchflussrate (max. 0,6 l/min) durch das Adsorptionsröhrchen geleitet. Dies führt zu einer Probennahmedauer von wenigen Minuten pro Bodenluftprobe. Die Röhrchen müssen sofort nach der Probennahme beidseitig mit den zugehörigen Kappen verschlossen werden.

Die Aktivkohleröhrchen vom Typ G haben hinter der eigentlichen Adsorptionsschicht (700 mg Aktivkohle) noch eine zweite Adsorberpackung (300 mg Aktivkohle), die beim Verdacht des Durchbruchs analysiert werden kann. Sofern hier ebenfalls eine nennenswerte Menge der zu untersuchenden Substanz gefunden wird, liegt ein Durchbruch der ersten Adsorberpackung vor. Das Ergebnis der Laboranalyse kann dann nicht quantitativ ausgewertet werden bzw. die tatsächlichen Konzentrationen in der Bodenluft liegen über den ermittelten Analysenwerten. Bei Einhaltung der o.g. Standardparameter der Probennahme ist in diesem Fall von einer massiven Bodenluftkontamination auszugehen. In einem solchen Fall soll eine vertiefende Untersuchung angeschlossen werden.

Eine bei der Ersterkundung von Verdachtsflächen gängige Methode ist die über das gesamte Bohrloch integrierende Probennahme bei niedrigem Unterdruck und Adsorption auf Aktivkohleröhrchen (z.B. Typ G). Diese Methode entspricht der in VDI 3865, Blatt 2, beschriebenen Variante 2. Bei diesem Verfahren ist der Sondendurchmesser kleiner als der Bohrl Lochdurchmesser und die Sonde wird gegen die Außenluft abgedichtet.

Falls eine tiefen- bzw. horizontorientierte Probennahme erforderlich ist, kann die Variante 1 (Probennahme mit Anreicherung; punkt- bzw. horizontorientierte Messung) eingesetzt werden. Hier ist im Gegensatz zur Variante 2 der Sondendurchmesser größer oder gleich dem Bohrl Lochdurchmesser und die Entnahmesonde wird (mindestens) bis zum Bohrl ochtiefsten eingeführt.

An die Kennzeichnung und den Transport von Bodenluftproben sind grundsätzlich die gleichen Anforderungen zu stellen, die unter Kapitel 3.5 bereits skizziert worden sind. Die Proben sollen bei Zimmertemperatur und dunkel gelagert werden (Ausnahme XAD-Harz: Lagerung kühl und dunkel). Alle Proben sollten im Regelfall binnen 24 Stunden, spätestens jedoch innerhalb 3 Tagen weiterverarbeitet werden (VDI 3865-2). Bei der Verwendung von Septumgläsern ist die Lagerzeit als besonders kritisch einzustufen.

5.4.4 Dokumentation der Probennahme

Für die Bewertung der Untersuchungsergebnisse stellt die Dokumentation der Probennahme eine wesentliche Grundlage dar. Die Dokumentation der durchgeführten Untersuchungen sollte die Beschreibung des eingesetzten Verfahrens sowie die standorttypischen Bedingungen enthalten.

Der bei den Bohrungen erkundete Untergrundaufbau ist zu dokumentieren. Insbesondere sind diejenigen Untergrundeigenschaften anzusprechen, die eine Information über die Gasdurchlässigkeit und ggf. das Schadstoffspektrum und die Schadstoffkonzentrationen geben.

Die Dokumentation des Messstellenausbau und der technischen Ausführung der Sonde kann z.B. in Analogie zur Dokumentation des Grundwassermessstellenbaus erfolgen. Auch hierbei sind Besonderheiten, die die Zusammensetzung und Konzentration von Gasen und Dämpfen beeinflussen können, zu vermerken.

Die Dokumentation der Probennahme sollte folgende wesentlichen Punkte enthalten:

- Datum, Uhrzeit, Objekt- und Messstellenbezeichnung

gängige Methoden

Probenkennzeichnung und -transport

Untergrundaufbau

Messstellenausbau

Randbedingungen der Probennahme

- Probennahmemethode und Ausrüstung
- ggf. Entnahmetiefe (bei nicht-integrierenden Verfahren)
- Probennahmedurchführung (z.B. Wartezeit nach Messstellenbau, durchgesetztes Gasvolumen zur Spülung, entnommene Bodenluftmenge und Förderrate zur Probennahme). Bei der Dokumentation der Probennahme von Adsorptionsproben muss die Probenmenge (Luftvolumen), die über das Adsorptionsmedium geleitet wurde, protokolliert werden, da sie für die Berechnung der Bodenluftkonzentration erforderlich ist.
- Unterdruck bzw. Druckverlauf während der Probennahme
- Umgebungsparameter (z.B. Wettersituation, Außenlufttemperatur, Luftdruck (optional), Hinweise auf Standortmerkmale, die die Konzentration beeinflussen können)
- Konzentrationen der im Feld gemessenen Parameter (bzw. zeitlicher Verlauf der Messwerte)
- Probenkennung
- Name des Probennehmers.

5.5 Chemische Untersuchungen

Originalproben

Bodenluftproben werden in der Regel mittels Gaschromatographie untersucht. Für Originalproben aus z.B. Dampfraumgefäßen ist keine weitere Probenvorbereitung notwendig. Diese Proben können direkt in die Probenaufgabevorrichtung des Gaschromatographen überführt und mit Hilfe geeigneter Verfahren analysiert werden. Bei der Direktmessung ist es notwendig, die Proben vor und während der Injektion isotherm bei Umgebungsbedingungen zu halten, damit Substanzverluste durch Kondensation ausgeschlossen sind.

Die beste Gewähr für eine qualifizierte und reproduzierbare Probenaufgabe bietet ein automatisches Probenaufgabesystem (existiert nicht für Pasteurpipetten).

Probenvorbereitung bei Adsorptionsproben

Adsorptionsproben müssen vor ihrem Einsatz extrahiert bzw. eluiert werden. Für die Extraktion wird das Röhrchen geöffnet, das Adsorptionsmittel umgehend und vollständig in ein Dampfraumgefäß überführt, mit dem Extraktionsmittel überschichtet und das dicht verschlossene Gefäß für einige Zeit geschüttelt. Für die Elution kann auch das beidseitig geöffnete Röhrchen gegen die ursprüngliche Durchströmungsrichtung mit einem Lösungsmittel durchspült werden, das die adsorbierten Stoffe ins Eluat verdrängt. Danach kann die jeweils erhaltene Extraktions-/Elutionslösung direkt auf die Säule des Gaschromatographen aufgegeben werden.

Nachweisverfahren

Halogenierte Verbindungen werden mit einem Elektronen-Einfang-Detektor (ECD) sehr empfindlich nachgewiesen. Für den Nachweis nicht chlorierter Verbindungen wird im Allgemeinen ein Flammenionisationsdetektor (FID) verwendet. Darüberhinaus kann auch ein Detektor auf der Basis der Massenspektroskopie (GC-MS) eingesetzt werden. Weitere Spezialverfahren sind je nach Aufgabenstellung möglich.

Qualitätssicherung

Die Eignung eines angewandten Analysenverfahrens sollte durch eine detaillierte Beschreibung und eine ausreichend gute Qualitätssicherung nachgewiesen werden. Verfahren zur Qualitätssicherung bei der Probenaufbereitung und Laboranalytik sind in VDI 3865, Blatt 3, enthalten.

5.6 Qualitätsanforderungen und Fehlervermeidung

Für die Qualitätssicherung im Rahmen der Bodenluf terkundung gelten generell die gleichen allgemeinen Prinzipien wie für die Erkundung des Bodens und des Grundwassers. Um bei der Bodenluf terkundung richtige und repräsentative Untersuchungsergebnisse zu erhalten, sind folgende kritischen Punkte zu beachten:

- verwendete Materialien bei der Herstellung der Bodenluftmessstelle,
- Abdichtung der Messstelle gegenüber der atmosphärischen Luft,
- Vermeidung von Verschleppungen der Kontamination bei der Probennahme,
- Kalibrierung der Feld- und Labormessgeräte und Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Messungen.

Bei der Auswahl der für den Bau der Bodenluftmessstellen verwendeten Materialien ist darauf zu achten, dass diese keine gas- und dampfförmigen Schadstoffe abgeben können. Dies sind z.B. lösungsmittelhaltige Klebstoffe, mit Ölen oder sonstigen Schmierstoffen bzw. lösemittelhaltigen Reinigern behandelte Sondierstangen, kontaminierter Filterkies bzw. Abdichtmaterial. Besondere Sorgfalt ist beim Umgang mit Kraft- und Schmierstoffen für im Rahmen der Probennahme eingesetzte Stromgeneratoren oder Motoren erforderlich.

Nur einwandfrei gereinigte Probennahmegerätschaften dürfen zum Einsatz kommen.

Die Dichtigkeit der Bodenluftprobennahmesonden ist am besten durch Anlegen eines Unterdrucks und anschließende Kontrolle des Druckverlaufs zu prüfen. Zur Bewertung der Dichtigkeit einer Bodenluftmessstelle bzw. zur Identifikation von atmosphärischen Außenluftanteilen bei Entnahme von größeren Bodenluftvolumina kann auch die Messung der Kohlendioxidkonzentration in der Bodenluft als Qualitätsprüfung verwendet werden. Der Kohlendioxidgehalt in der Bodenluft ist aufgrund mikrobiologischer Abbauvorgänge im Allgemeinen höher als in der Außenluft (Kap. 5.4.2). Durch die kontinuierliche Messung des Kohlendioxidgehaltes während der Probennahme kann die Dichtigkeit der Messstelle bewertet werden. Bei einer deutlichen Abnahme des CO₂-Gehalts (in Vol.-%) während der Bohrlochspülung bzw. während der Probennahme ist von einer schlechten Abdichtung der Sonde auszugehen.

Bei der Entnahme von Bodenluftproben ist erfahrungsgemäß die Gefahr der ungewollten Kontamination am größten. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, hier immer auch Blindproben zu analysieren. Die Blindproben sind im Idealfall so zu nehmen wie die Probe selbst, jedoch ist anstelle von Bodenluft Außenluft am Ort der Probennahme zu beproben. Zur Kontrolle von möglichen Probenkontaminationen durch Transport, Lagerung und Handhabung können z.B. an der Probennahmestelle geöffnete, aber nicht mit Luft beaufschlagte Aktivkohleröhrchen als Blindprobe analysiert werden. Anhand der Ergebnisse der Blindproben können Verunreinigungen und Verschleppungseffekte erkannt werden.

Die verwendeten Gassammelgefäße (Pipetten, Septumgläser) sind ausreichend mit Probenluft zu spülen. Die Spitzen der Kanülen, durch die die Probe in das Gefäß eingespritzt wird, sind dabei bis zum Gefäßboden einzuführen. Für Septumgläser müssen passende, selbstabdichtende Septen verwendet werden.

Das Gesamtverfahren von der Probennahme bis zur Analytik ist durch die Verwendung von Prüfgasen zu kalibrieren (VDI 3865-3).

Die Probennahmestrategie sollte so angelegt werden, dass zuerst Proben aus vermutlich geringer kontaminierten Bereichen und zuletzt die Proben aus den vermutlich am höchsten belasteten Bereichen entnommen werden.

**Fehlerquellen
bei der Bodenluft-
probennahme**

**verwendete
Materialien und
Hilfsstoffe**

**Dichtigkeit der
Probennahmesonde
und Messstelle**

Blindproben

Gassammelgefäße

Kalibrierung

**Probennahme-
strategie**

6 Sickerwasserprognose

gesetzliche Grundlage

Mit der BBodSchV ist die Sickerwasserprognose als verbindliches Vorgehen eingeführt worden (§ 4 Abs. 3 BBodSchV). Im Handbuch Altlasten „Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfad Boden→Grundwasser: Sickerwasserprognose“ (HLUG 2002) ist die Sickerwasserprognose detailliert beschrieben. Im Folgenden wird das Prinzip der Sickerwasserprognose kurz erläutert.

Schadstoffe, die sich in der ungesättigten Bodenzone befinden, können durch versickernden Niederschlag ausgewaschen und mit dem Sickerwasser in das Grundwasser transportiert werden (siehe Abbildung 22). Zur Abschätzung des Schadstoffeintrages in das Grundwasser sieht die BBodSchV eine Sickerwasserprognose vor (§ 2 Nr. 5 BBodSchV).

Definition

Laut BBodSchV ist die Sickerwasserprognose eine Abschätzung

- der von einer schädlichen Bodenveränderung ausgehenden Schadstoffeinträge oder der in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Schadstoffeinträge
- über das Sickerwasser in das Grundwasser,
- unter Berücksichtigung von Konzentrationen und Frachten
- und bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone.

Ort der Beurteilung

Der Übergangsbereich von der wasserungesättigten zur wassergesättigten Zone wird als Ort der Beurteilung bezeichnet (§ 4 Abs. 3 BBodSchV). Der Ort der Beurteilung ist jedoch schwierig zu fassen, da der Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Zone nicht exakt definiert ist und sich im Jahresverlauf verändern kann. In Hessen wird der Ort der Beurteilung mit dem gemessenen oder geschätzten Grundwasserhöchststand gleichgesetzt.

drei Möglichkeiten der Sickerwasserprognose

In der BBodSchV werden drei Möglichkeiten aufgezählt, wie die Sickerwasserprognose durchgeführt werden kann. Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen kann der Prognoseschritt sowohl auf Vorhersagen als auch auf Rückschlüssen bzw. Rückrechnungen basieren. Ziel der Sickerwasserprognose ist in allen drei Fällen die Abschätzung der Schadstoffkonzentration und -fracht am Ort der Beurteilung. Hier gelten die Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden→Grundwasser.

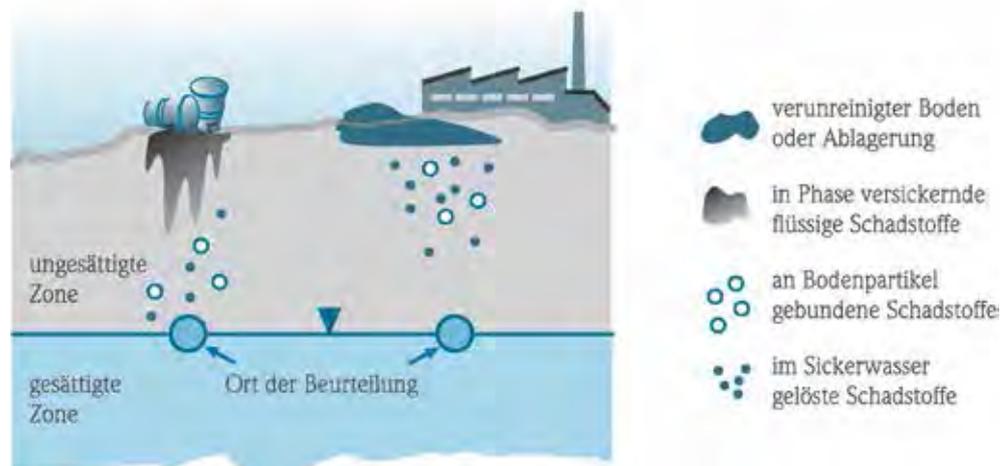


Abb. 22
Schädliche Bodenveränderungen in der ungesättigten Bodenzone (schematisiert)

Untersuchungen im Grundwasserabstrom: Grundwasseruntersuchungen lassen prinzipiell Rückschlüsse auf die Schadstoffkonzentration im Sickerwasser am Ort der Beurteilung zu. Die Grundwassermessstelle soll dabei so dicht wie möglich am Ort der Beurteilung niedergebracht werden, um die Verdünnung des Sickerwassers im Grundwasser möglichst gering zu halten. Für die Abschätzung der Schadstoffkonzentration am Ort der Beurteilung sind die Konzentration im unmittelbaren Grundwasserabstrom, die Konzentration im Anstrom und die Verdünnung des Sickerwassers im Grundwasser bewertungsrelevant.

GW-Untersuchungen

Grundwasseruntersuchungen lassen Rückschlüsse auf die gegenwärtigen Verhältnisse am Ort der Beurteilung zu. Um den zukünftigen Schadstoffeintrag abschätzen zu können, sind zusätzliche Bodenuntersuchungen erforderlich.

In-situ-Untersuchungen in der ungesättigten Bodenzone: Zu den In-situ-Untersuchungen zählen Beprobungen von Sickerwasser (Kap. 3.4.5), Stauwasser und Bodenluft sowie die Ermittlung von Messwerten direkt im Boden mittels Sonden ("Drucksondierung", s. Kap. 4.3.1). In-situ-Untersuchungen können eine sinnvolle Ergänzung zu Bodenuntersuchungen (Feststoffuntersuchungen) sein.

In-situ-Untersuchungen

Für eine repräsentative Beprobung von Sicker- und Stauwasser sind mehrere Messstellen und jahreszeitlich versetzte Beprobungen erforderlich. Die Entnahme von Sickerwasserproben direkt am Ort der Beurteilung ist häufig nicht möglich. Zur Abschätzung der Sickerwasserkonzentration und -fracht am Ort der Beurteilung sind die Abbau- und Rückhalteprozesse im Bereich zwischen Ort der Probenahme und Ort der Beurteilung zu berücksichtigen.

Bodenluftuntersuchungen geben Hinweise auf die Lage von Schadenszentren im Boden und Schadstofffahnen im Grundwasser. Eine Berechnung der Schadstoffkonzentration im Sicker- und Grundwasser aufgrund von Bodenluftuntersuchungen ist jedoch nicht möglich. In der BBodSchV werden für Bodenluft keine Prüfwerte angegeben.

Bodenuntersuchungen im Labor: Dazu zählen Elutions-/Extraktionsuntersuchungen (Kap. 4.6), Bestimmungen der Schadstoffgehalte in Böden oder Bodenmaterialien (Kap. 4.7) sowie die Gewinnung von Porenlösung durch Zentrifugation (HLUG 2002).

Bodenuntersuchungen

Mit Bodenuntersuchungen soll der Schadstoffaustrag mit dem Sickerwasser aus dem kontaminierten Boden abgeschätzt werden. Um den zukünftigen Schadstoffeintrag am Ort der Beurteilung in das Grundwasser abschätzen zu können, ist ergänzend der Abbau und Rückhalt von Schadstoffen in der ungesättigten Bodenzone zu berücksichtigen. Die Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone wird in erster Linie durch die Faktoren Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung, Sickerwasserrate, Durchlässigkeit des Untergrunds und mikrobielle Abbaubarkeit von Schadstoffen bestimmt.

Der Einsatz numerischer Stofftransportmodelle ist nur bei größeren Schadensfällen und bei sehr gutem Kenntnisstand sinnvoll. Einerseits sind für numerische Transportmodelle eine Vielzahl von Eingangsdaten erforderlich, die i.d.R. nur teilweise vorliegen. Andererseits ist es bei der Anwendung dieser Transportmodelle notwendig, einen erfahrenen Modellanwender zu beteiligen. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Eingangsdaten ist entscheidend dafür, wie gut das erzeugte Modell die wirklichen Verhältnisse abbilden kann. Daher wird auch in der BBodSchV der Einsatz von Transportmodellen nur als weitere Möglichkeit zur Durchführung einer Sickerwasserprognose vorgeschlagen (Anhang 1 Nr. 3.3 BBodSchV). Der derzeitige Kenntnisstand zum

Einsatz von Stofftransportmodellen

Einsatz von Modellen für den Schadstofftransport in der ungesättigten Bodenzone ist in BWK (2000) und KORA (2008) dargestellt (vgl. auch Kap. 4.9).

**analytisches Modell
ALTEX-1D**

Speziell für die Sickerwassermodellierung bei Detailuntersuchungen steht das analytische Stofftransportmodell ALTEX-1D zur Verfügung. ALTEX-1D wurde im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz entwickelt (LABO 2008).

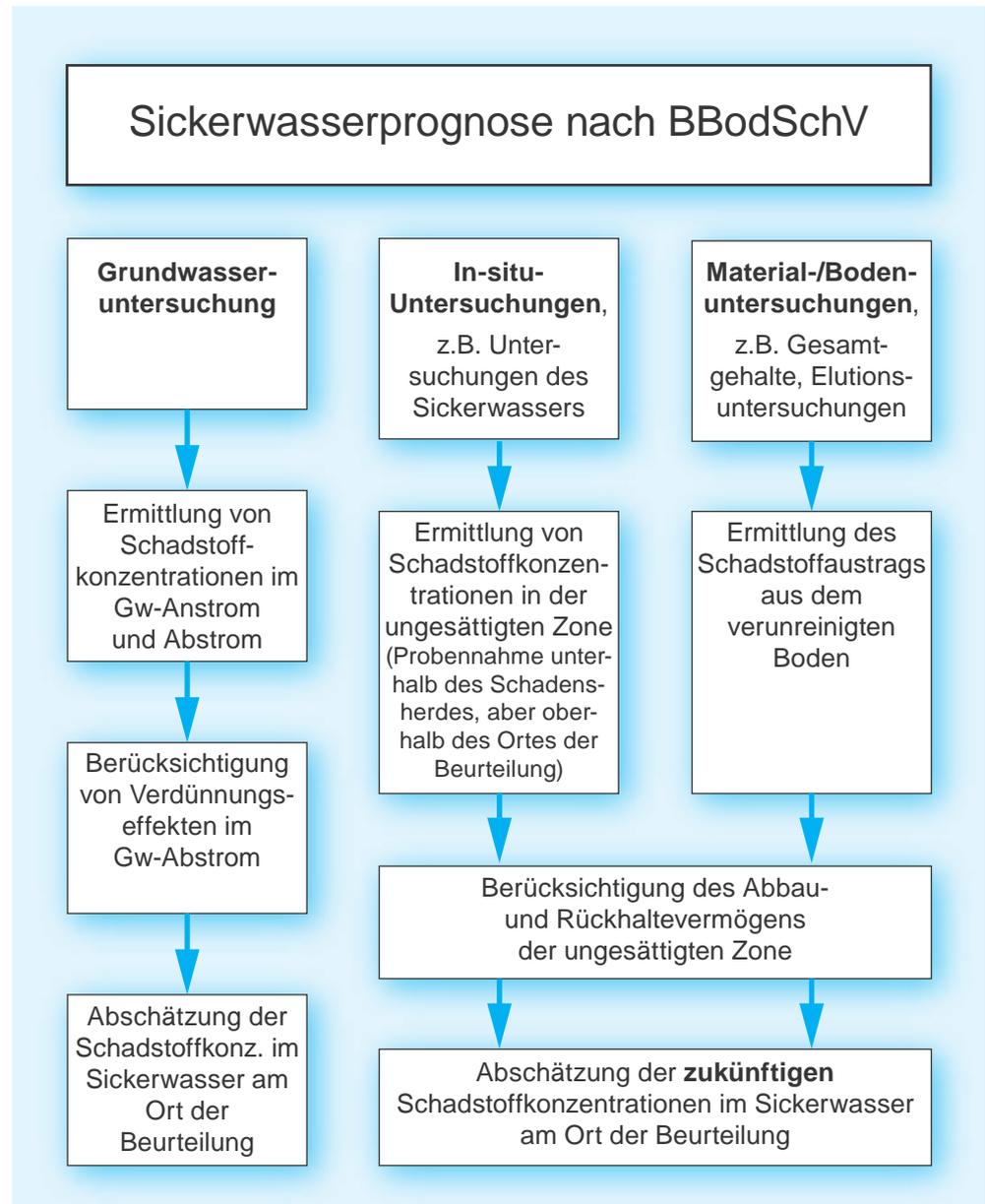


Abb. 23
Möglichkeiten zur Durchführung der Sickerwasserprognose

7 Weitere Erkundungsverfahren

7.1 Allgemeines, Zielsetzung

Bei der Untersuchung von Altablagerungen und Altstandorten hat sich folgende Vorgehensweise bewährt: Erkundung des Untergrundaufbaus durch Aufschlüsse und Bohrungen, Entnahme von Boden-, Bodenluft- und Grundwasserproben, Analyse der relevanten Schadstoffe.

Bei bestimmten Standortsituationen und Fragestellungen können im Rahmen von Untersuchungen alternativ oder zusätzlich zu den klassischen Erkundungsverfahren andere Verfahren eingesetzt werden.

Im folgenden werden die Erkundungsverfahren

- geophysikalische Verfahren
- Isotopen- und Spurenstoffanalytik
- Biomonitoring
- Raumluftuntersuchungen
- Staubuntersuchungen
- Untersuchung von Pflanzen

vorgestellt. Das jeweilige Verfahrensprinzip wird erläutert und die Voraussetzungen und Anwendungsgrenzen werden diskutiert.

Neben dem Einsatz als Erkundungsinstrumente sind die genannten Verfahren auch für Überwachungszwecke an oder im Umfeld einer Altablagerung bzw. eines Altstandortes anwendbar.

Generell ist beim Einsatz von Spezialverfahren zu empfehlen, diese im Rahmen von Untersuchungen zunächst als Eignungsstudien durchzuführen. Das bedeutet, dass durch eine vorgeschaltete stichprobenartige Untersuchung geprüft wird,

- ob das Verfahren am Standort anwendbar ist,
- inwieweit eindeutige und repräsentative Ergebnisse erhalten werden und
- wie hoch die Aussagegenauigkeit der aus den Ergebnissen abgeleiteten Schlussfolgerungen ist.

Ein weiteres Ziel der Eignungsstudie sollte sein, mit möglichst wenig Zeit- und Kostenaufwand zusätzlich zur Aussage über die Eignung des Verfahrens am Standort bereits erste Untersuchungsergebnisse zu erhalten.

Alternativen zu den klassischen Erkundungsverfahren

Prüfung der Anwendbarkeit am Standort

7.2 Geophysikalische Erkundungsmethoden

Geophysikalische Verfahren beruhen auf zerstörungsfreien und berührungslosen Messmethoden. Damit ist insbesondere bei unzureichendem Kenntnisstand der Schadstoffpotenziale ein hoher Arbeitsschutz gewährleistet. Beim Vorliegen geeigneter Randbedingungen sind flächendeckende bzw. räumliche Aussagen für eine Gesamtbewertung des Standortes möglich.

Die Anwendung geophysikalischer Verfahren ist dadurch begrenzt, dass oft mehrdeutige Untersuchungsergebnisse erhalten werden. Dies wird teilweise noch durch große Störeinflüsse auf die eigentliche Messung verstärkt (oft ist das zu messende Signal geringer als die erforderlichen Korrekturen). Mehrdeutigkeiten können in der

Vorteile

Probleme

Regel durch die Anwendung mehrerer Verfahren bzw. von Verfahrenskombinationen verringert werden. Damit ist ein hoher Interpretationsbedarf durch entsprechend erfahrene Fachleute erforderlich. Weiterhin ist die Darstellung der Ergebnisse und die Interpretation oft ungewohnt, so dass ein hoher Aufwand für die Erläuterung der Bewertungsergebnisse notwendig ist. Aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und der vergleichsweise geringen Einsatzhäufigkeit in der Praxis ist derzeit bei geophysikalischen Verfahren eine standardisierte Bewertung der Untersuchungsergebnisse nicht möglich.

Verfahren und Einsatzgebiete

Im Zusammenhang mit der Erkundung von Altstandorten und Altablagerungen können vor allem folgende Verfahren zum Einsatz kommen:

- Geomagnetik (zum Nachweis ferromagnetischer Körper, z.B. Eisenteile, Blechfässer)
- Geoelektrik (zum Nachweis nicht magnetischer metallischer Stoffe und gut elektrisch leitender Flüssigkeiten)
- Bodenradar (zum Erkennen von Schichtgrenzen)
- Seismik (zur Erkundung des Untergrundaufbaus, z.B. zur räumlichen Eingrenzung von Deponiekörpern)

In der Praxis werden die genannten Verfahren nur in speziellen Einzelfällen angewandt. Auf eine detaillierte Beschreibung und Diskussion wird daher an dieser Stelle verzichtet. Ausführliche Beschreibungen der Verfahren und deren Anwendungsgebiete sind z.B. in KNÖDEL (2005) zu finden.

7.3 Isotopen- und Spurenstoffanalytik

Markierungen im hydrologischen Kreislauf

Die Messung von Umweltisotopen (z.B. ^2H , ^3H , ^{13}C , ^{14}C , ^{18}O , ^{34}S) und Umweltindikatoren (z.B. FCKW), die im natürlichen hydrologischen Kreislauf enthalten sind, kann Informationen über das zeitliche, dynamische Verhalten des Grundwassers im Bereich einer Altablagerung oder eines Altstandortes liefern. Außerdem können Hinweise zur Schadstoffausbreitung über den Wasserpfad und die Schadstoff-Transportparameter sowie über einen mikrobiologischen Abbau erhalten werden. Die Grundlagen dieser Methoden und deren Anwendung sind z.B. beschrieben in MOSER (1980), GAT (1981), DÖRR (1993) oder GEYH (1998).

Anwendungsgebiete

Generell lassen sich die Verfahren in drei Kategorien unterteilen:

- Grundwasserdatierungen: Bestimmung von mittleren Verweildauern des Grundwassers, z.B. unterhalb eines Altstandortes oder einer Altablagerung, Ermittlung von Grundwasserabstandsgeschwindigkeit und Schadstoffausbreitungsgeschwindigkeit.
- Identifikation der Herkunft von Wasser bzw. Wasseranteilen: Bestimmung des Anteils von Sickerwasser (z.B. aus einer Altablagerung) im Grundwasser, Bestimmung der Mischungsverhältnisse in unterschiedlichen Grundwasserstockwerken.
- Nachweis des mikrobiellen In-situ-Abbaus von Schadstoffen (z.B. bei Natural Attenuation) und Ableitung von In-situ-Abbauraten. In der Natur kommt neben dem stabilen Kohlenstoff-Isotop ^{12}C auch das schwerere, ebenfalls stabile Isotop ^{13}C in geringen Mengen vor. Beim mikrobiellen Abbau werden bevorzugt Verbindungen umgesetzt, die leichte Isotope enthalten. Dies führt dazu, dass sich in der verbleibenden Schadstofffraktion die schwereren Isotope anreichern. Dieser als Isotopenfraktionierung bekannte Effekt ist für einige, aber nicht für alle Schad-

stoffe nachgewiesen. Mit Hilfe der Isotopenfraktionierung können Abbauraten abgeleitet werden (KORA 2008a, RICHNOW 1999).

Für die Grundwasserdatierung stehen je nach zu untersuchendem Alters- bzw. Verweilzeitbereich die folgenden Methoden zur Verfügung:

- Tritium-Methode: Erkennen von Grundwasser, das vor ca. 1960 neu gebildet wurde
- Tritium-Helium-3-Methode: Altersbestimmung von Grundwasser im Altersbereich zwischen 0 und ca. 40 Jahren
- FCKW-Datierung: Altersbestimmung im Bereich von 0–40 bzw. 0–20 Jahren (OSTER 1994)
- Radiokohlenstoff (^{14}C)-Methode: Grundwasseraltersbestimmung im Bereich von mehreren hundert bis einigen zehntausend Jahren
- Spezialmethoden: z.B. ^{85}Kr , ^{39}Ar im Altersbereich von ca. 50 bis zu einigen hundert Jahren.

Die Probennahmeverfahren müssen auf die durchzuführenden Untersuchungen und Analysen abgestimmt sein. Sie erfordern Erfahrung, was die Besonderheiten der einzelnen Parameter betrifft, sind aber hinsichtlich ihres Aufwandes größtenteils mit den gängigen Verfahren vergleichbar.

Die Interpretation der Analyseergebnisse erfordert Spezialkenntnisse auf dem Gebiet der Isotopenhydrogeologie. Die Anwendung der genannten Methoden bei der Erkundung von Altstandorten und Altablagerungen und die Bewertung der Messergebnisse sollten daher nur unter Einbeziehung entsprechender Fachleute durchgeführt werden.

Methoden zur Grundwasserdatierung

Probennahme

Interpretation

7.4 Biomonitoring

Der Begriff Biomonitoring wird im Umweltbereich mehrdeutig verwendet. Man unterscheidet zwischen einem Human-Biomonitoring und einem Umwelt-Biomonitoring.

Beim Human-Biomonitoring werden die Konzentrationen von Schadstoffen oder deren Metabolite z.B. in menschlichem Blut oder Harn bestimmt (Belastungsmonitoring). Bei dem sogenannten Effektmonitoring wird untersucht, inwieweit unterschiedliche Belastungen human-biologische Effekte hervorrufen. Das Human-Biomonitoring ermöglicht die Abschätzung der individuellen Stoffbelastungen sowie gegebenenfalls die Abschätzung der hierdurch ausgelösten biologischen Wirkungen (Human-Biomonitoring 1996, MÜLLER 2012).¹

Beim Umwelt-Biomonitoring macht man sich zunutze, dass empfindliche Organismen, z.B. ausgewählte Pflanzen, die Wirkungen von Schadstoffen direkt vor Ort erfassen und makroskopisch durch Veränderung des Wachstums oder bei der chemischen Analyse durch Schadstoffgehalte in Pflanzenmaterial (z.B. Moose) "anzeigen" können. Das Umwelt-Biomonitoring eignet sich somit als Instrument zur wirkungsbezogenen Umweltüberwachung (UBA 2000).

Die Biotopkartierung ist ein Sonderfall des Umwelt-Biomonitorings. Dabei erfolgt zunächst eine Bestandsaufnahme der im Untersuchungsgebiet bzw. auf dem Untersuchungsstandort sowie in benachbarten oberirdischen Gewässern vorkommenden

Human-Biomonitoring

Umwelt-Biomonitoring

Biotopkartierung

¹ Im Umweltbundesamt gibt es die „Kommission Human-Biomonitoring“, deren Stellungnahmen im Internet abrufbar sind (www.umweltbundesamt.de).

Pflanzen- und Tierwelt (Flora und Fauna). Eine Korrelation mit Vergleichsbiotopen (Referenzfläche) lässt erkennen, ob mögliche Beeinflussung durch spezifische Umweltbedingungen vorliegen. Dieses Verfahren ist wirkungsorientiert, d.h. Schadstoffpotenziale bzw. Schadstoffemissionen sind nur dann erkennbar, wenn sie eine entsprechende Wirkung auf die Pflanzen- und Tierwelt am Standort (Bioindikatoren) ausüben bzw. ausgeübt haben. Erläuterungen sind z.B. in GASSNER (1990) gegeben.

Bewertung der Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse sind zuerst hinsichtlich ihrer Aussageschärfe zu bewerten. In der Regel kann aus negativen Befunden keine Aussage abgeleitet werden. Das heißt, falls keine Veränderungen zu beobachten sind, kann dies nicht als Indiz für eine Schadstofffreiheit des Untergrundes gewertet werden. Werden jedoch signifikante Veränderungen beobachtet, können diese qualitativ zur räumlichen Abgrenzung von Hauptschadensbereichen genutzt werden. Gegebenenfalls kann durch chemische Analysen von z.B. Pflanzenmaterial auf das vorliegende Schadstoffspektrum geschlossen werden (vgl. Kap. 7.7).

7.5 Raumlufthuntersuchungen

Veranlassung

Raumlufthuntersuchungen auf gas- und dampfförmige Stoffe können neben der Ermittlung des Schadstoffpotenzials auch die Bewertung der Schadstoffausbreitung über den Gaspfad ermöglichen. Die Innenraumlufthuntersuchungen in Gebäuden, die sich auf oder in der Nähe von Altstandorten oder Altablagerungen befinden, ist Bestandteil des Wirkungspfadens Boden→Bodenluft→Raumlufthuntersuchungen→Mensch. Soweit aufgrund der örtlichen Gegebenheiten oder nach den Ergebnissen von Bodenluftuntersuchungen Anhaltspunkte für die Ausbreitung von flüchtigen Schadstoffen aus einer altlastverdächtigen Fläche in Gebäude bestehen, soll eine Untersuchung der Innenraumlufthuntersuchungen erfolgen (§ 3 Abs. 6 BBodSchV).

Schutzgut Mensch

Für bestimmte Schadstoffgruppen und -potenziale und bei besonderen Standortsituationen kann es daher erforderlich sein, die potenziellen Auswirkungen von Schadstoffen über den Gaspfad auf das Schutzgut Mensch zu bewerten. Dazu können neben den unter Kap. 5 beschriebenen Erkundungsverfahren zusätzliche Untersuchungen zum Eintritt von Schadstoffen in Keller und Innenräume durchgeführt werden.

Pfad Bodenluft→Raumlufthuntersuchungen

Insbesondere auf bebauten Altablagerungen können durch Setzungen Gebäudeschäden entstehen, insbesondere Risse in Fundamenten, Kellerräumen und bei Rohrdurchführungen. Dies sind potenzielle Gaswegsamkeiten, über die gas- und dampfförmige Schadstoffe aus dem Untergrund in Innenräume eindringen können. Unabhängig davon können Schadstoffe durch Schächte, Kanäle, die Baumaterialien oder durch Haarrisse hindurch in die Innenräume gelangen.

Vorgehensweise

Die Untersuchung von Innenraumlufthuntersuchungen sollte generell in zwei Phasen erfolgen. Die erste Phase beinhaltet die visuelle Inspektion der Bausubstanz und des unmittelbar angrenzenden Geländes. Je nach Gebäudezustand sowie in Abhängigkeit von der Nutzung sind dann entsprechende Probennahmen durchzuführen.

Untersuchungsparameter und Randbedingungen

Die zu untersuchenden Parameter richten sich, wie unter Kap. 5 beschrieben, nach der recherchierten früheren Standortnutzung und ggf. bereits vorliegenden Untersuchungsergebnissen. Die Messungen müssen unter standardisierten Randbedingungen durchgeführt werden. Insbesondere ist es wichtig, definierte Bedingungen hinsicht-

lich der Lüftung der Räume herzustellen (z.B. vor der Messung oder Probennahme 12 Stunden lang Fenster und Türen geschlossen halten). Diese Randbedingungen müssen im Probennahmeprotokoll dokumentiert werden. Außerdem ist zu prüfen, ob Umgebungsmessungen (Hintergrundbelastung durch diffuse Quellen) für eine Bewertung erforderlich sind. So kann z.B. in der Nähe von Tankstellen oder Autobahnen der Benzolgehalt in der Außenluft deutlich höher sein als in der Innenraumluft.

Die Messstrategie bei Innenraumluftmessungen wird in der Richtlinienreihe VDI 4300 DIN sowie in der Normenreihe DIN EN ISO 16000 beschrieben. Messverfahren für unterschiedliche Innenraumluftschadstoffe sind in der Richtlinienreihe VDI 4301 aufgeführt. Die gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen wird in VDI 2100 beschrieben.

In der Mitteilung der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes sind Referenz-/Richtwerte für private und öffentliche Innenräume aufgeführt, z.B. zu Toluol, Naphthalin, Dichlormethan, PCB, TVOC (Total Volatile Organic Compounds). Für weitere flüchtige Schadstoffe wie Benzol, Tetrachlorethen, Trichlorethen und Vinylchlorid können orientierende Innenraumluftwerte abgeleitet werden; hierzu sind die in LABO (2008a) genannten orientierenden Bodenluftwerte durch den Transferfaktor Bodenluft-Innenraumluft von 1000 zu dividieren.

In Abhängigkeit von den Untersuchungsergebnissen ist zu prüfen, ob Langzeitmessungen erforderlich sind, Warngeräte installiert werden müssen oder Maßnahmen zur Unterbindung bzw. Reduzierung der Gaswegsamkeiten durchzuführen sind.

**VDI-Richtlinien
DIN-Normen**

Bewertung

weitere Maßnahmen

7.6 Staubuntersuchungen

Bei der Erkundung von noch bebauten Altstandorten kann es (insbesondere im Hinblick auf Arbeitsschutz) erforderlich sein, Staubmessungen und Untersuchungen des Schadstoffgehaltes im Staub und ggf. Bestimmung der Konzentration von Mineralfasern wie z.B. Asbest in der Außen- und Raumluft durchzuführen. Hierbei ist nach den entsprechenden Richtlinien (VDI 3492, Blatt 1 und Blatt 2) zu verfahren.

Für die Staubuntersuchungen stehen unterschiedliche Probennahmeverfahren zur Verfügung:

- Sammeln des Luftstaubs bzw. der Mineralfasern auf entsprechenden Filtern durch Beaufschlagung mit Gebläsen und Pumpen
- Sammeln von Luftstaub und Mineralfasern in Waschflüssigkeiten.

Bei der Analyse der Proben ist darauf zu achten, dass die Sammelfilter bzw. Waschflüssigkeiten keine Grundbelastung enthalten. Bei Luftstaub ist neben der chemischen Zusammensetzung insbesondere die Größenverteilung der Staubpartikel von Bedeutung.

Mineralfasern sind hinsichtlich ihrer Konzentration sowie ihrer geometrischen Struktur zu untersuchen. Die insbesondere mit dem Auftreten von Mineralfasern und Asbest verbundene Problematik ist äußerst komplex und vielschichtig. Deshalb wird im Rahmen dieses Handbuches die Thematik nicht weiter vertieft. Nähere Informationen, insbesondere Details zur Probennahmetechnik und Analyse, sind VDI 3492 Blatt 1 und 2 zu entnehmen.

Veranlassung

Probennahme

Analyse

7.7 Untersuchung von Pflanzen

Probennahme

Die Entnahme von Pflanzen erfolgt statistisch verteilt über das gesamte zu beprobende Areal. Bei der Probennahme ist jeweils die gesamte Pflanze auszugraben. Die Wurzeln sind vorsichtig zur Entfernung von anhaftendem Boden und nichtpflanzlichem Biomassematerial abzuspülen. Unmittelbar nach der Probennahme ist anhaftender Staub mit deionisiertem Wasser abzuwaschen. Dazu kann u.U. auch ein Ultraschallbad zur Hilfe genommen werden. Alkohol sollte als Waschflüssigkeit vermieden werden, da es die cuticuläre Schicht auflöst. Ein späteres Abspülen ist wegen des Pflanzenwelkens stark erschwert. Da sich Schadstoffe in unterschiedlichen Teilen der Pflanze anreichern können, ist die abgespülte Pflanze in einzelne Organe (Sprosse, Blätter, Wurzeln und Nutzteile wie Früchte, Knollen usw.) zu teilen. Die jeweiligen Pflanzenorgane werden zusammengefasst. Als Probenmenge sind je Organ mindestens 500 g Frischgewicht erforderlich. Diese Menge variiert je nach zu analysierenden Schadstoffen und deren Nachweisgrenzen. Die Pflanzenproben müssen gekühlt (4 °C) und unmittelbar in das Laboratorium transportiert werden. Bei der Analyse von Pflanzenteilen sind einige Besonderheiten (u.a. Zellaufschluss) zu berücksichtigen. Hinweise zu Analysemethoden finden sich bei VDLUFA (2000 und 2000a) sowie LMBG (1994). Die Angabe der Schadstoffkonzentrationen erfolgt durch das Labor mit Bezug auf Gramm Feuchtmasse bzw. Gramm Trockenmasse.

Analyse

Die Bewertung der Beeinträchtigung von Nicht-Nutzpflanzen erfolgt in der Regel nicht durch die analytische Bestimmung der Schadstoffanreicherung in den Pflanzen, sondern anhand von Biotopkartierungen (vgl. Kap. 7.4).

Bewertung von Nutzpflanzen

Bei Nutzpflanzen ist zunächst zu unterscheiden, ob diese direkt durch den Menschen verzehrt werden, oder ob sie als Futtermittel für Nutztiere dienen und Schadstoffe auf diesem Weg in die menschliche Nahrungskette gelangen. Mit Hilfe der gemessenen Schadstoffkonzentrationen kann berechnet werden, ob eine Gefährdung für den Menschen durch die Akkumulation von Schadstoffen in Nutzpflanzen besteht. Dabei muss die Aufnahme für einzelne pflanzliche Teile in Abhängigkeit von dem Wirkungspfad (direkt/indirekt) berücksichtigt werden. Als Bewertungsgrundlage können die Futtermittelverordnung (FutMV) sowie die EG-Verordnung (EG 2001) herangezogen werden.

8 Glossar

Adsorption

Anreicherung eines Stoffes (Atom oder Molekül) an der Oberfläche eines Festkörpers durch Molekularkräfte bedingt. Durch Adsorption kann es z.B. in Böden und Sedimenten zur Akkumulation von Schadstoffen kommen. Die starke Adsorptionsfähigkeit von Aktivkohle macht man sich z.B. bei der Abluft- und Abwasserreinigung zu Nutzen.

Advektion

Der durch Bewegungen der (Boden-)Luft hervorgerufene Stofftransport.

Akkumulation

Anhäufung, Anreicherung von Stoffen (Elemente, Isotope, organische Schadstoffe) in biotischen und abiotischen Bereichen der Umwelt. Bei Anreicherung in Organismen spricht man von Bioakkumulation.

Altablagerungen

Stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert und abgelagert worden sind (§ 2 Abs. 5, Nr. 1 BBodSchG).

Altlasten

Altablagerungen und Altstandorte, durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden (§ 2 Abs. 5 BBodSchG).

Altlastverdächtige Flächen

Altablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen oder sonstiger Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit besteht (§ 2 Abs. 6 BBodSchG).

Altstandorte

Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, ausgenommen Anlagen, deren Stilllegung einer Genehmigung nach dem Atomgesetz bedarf (§ 2 Abs. 5 Nr. 2 BBodSchG).

Asphalt

Gemisch aus Bitumen und Mineralstoffen (z.B. Splitt).

Bitumen

Ein bei der Erdöldestillation gewonnenes schwer flüchtiges braun-schwarzes Gemisch aus verschiedenen organischen Substanzen (Kohlenwasserstoffen), dessen elasto-viskoses Verhalten sich mit der Temperatur ändert. Bitumen wird u.a. als Bindemittel zur Herstellung von Asphalt verwendet.

Boden

Im Sinne des BBodSchG (§ 2 Abs. 2) ist Boden die obere Schicht der Erdkruste einschließlich der flüssigen (Bodenlösung) und gasförmigen Bestandteile (Bodenluft), soweit der Boden natürliche Funktionen als Lebensraum und für den Wasserkreislauf sowie Nutzungsfunktionen hat. Grundwasser und Gewässerbetten zählen nicht zum Boden.

Im vorliegenden Handbuch werden unter dem Begriff Boden Lockergesteine, Lockerböden, Festgesteine oder Fels mit ihren Verwitterungsformen, organische Böden und aufgefüllte Böden verstanden.

Bodenmaterial

Bei Baumaßnahmen ausgehobenes, verlagertes oder behandeltes Material aus Böden. Im Unterschied zum Boden erfüllt Bodenmaterial keine Funktionen nach § 2 Abs. 2 BBodSchG.

Bodenstruktur

Räumliche Anordnung der unregelmäßig geformten festen mineralischen und organischen Bodenbestandteile, durch die das gesamte Bodenvolumen in Volumen der festen Bodensubstanz und in Porenvolumen aufgeteilt wird.

Synonym: Bodengefüge

Bodentextur

Zusammensetzung der festen Bodensubstanz aus Mineralen unterschiedlicher Korngröße. Beschreibung, Einteilung der Böden nach Korngrößenbereichen.

DATUS

Datenübertragungssystem zum Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG)

Deponiegas

Die in einer Deponie/Altablagerung entstehenden Gase. Deponiegas besteht überwiegend aus Methan und Kohlendioxid sowie untergeordnet Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid, Stickstoff und einer Vielzahl von Spurengasen.

Desorption

Rückgängigmachen der Adsorption; die Ablösung von Gasen, Flüssigkeiten oder Feststoffen von Festkörper-Oberflächen.

Detailuntersuchung

Gesamtheit der standort- und wirkungspfadbezogenen Untersuchungen, die aufbauend auf den Ergebnissen der orientierenden Untersuchung zur abschließenden Ermittlung des Sachverhaltes und für die Feststellung der zuständigen Behörde über Art und Umfang einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast erforderlich sind.

Vertiefte weitere Untersuchung zur abschließenden Gefährdungsabschätzung, die insbesondere der Feststellung von Menge und räumlicher Verteilung von Schadstoffen, ihrer mobilen oder mobilisierbaren Anteile, sowie der Möglichkeit ihrer Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen dient (§ 2 Nr. 4 BBodSchV).

Klärung der für die Wirkungspfade maßgeblichen Expositionsbedingungen, insbesondere der für die verschiedenen Wirkungspfade bedeutsamen mobilen oder mobilisierbaren Anteile der Schadstoffgehalte. Feststellung, ob sich aus räumlich begrenzten Anreicherungen von Schadstoffen innerhalb einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche Gefahren ergeben und ob eine Abgrenzung von nicht belasteten Flächen geboten ist (Anhang 1 Nr. 1.2 BBodSchV, § 3 Abs. 5 BBodSchV).

Diffusion

Durch molekulare Bewegung verursachter Ausbreitungs- und Mischungsprozess von Teilchen eines

Stoffes in einem anderen. Die Ausbreitung bzw. der Stofftransport erfolgt vom Ort hoher Konzentration zum Ort niedriger Konzentration, solange, bis ein vollständiger Dichte- und Konzentrationsausgleich stattgefunden hat. Die Diffusion ist abhängig vom Konzentrationsgefälle, der Temperatur und dem Molekulargewicht.

DNAPL

Dense non aqueous phase liquid. Flüssigkeit mit einer Dichte größer als Wasser, z.B. LHKW.

Emission

Die von einer Anlage oder einem technischen Vorgang ausgehenden festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffe, die in die Atmosphäre oder andere Umweltbereiche gelangen.

FIS AG

Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle. Im FIS AG sind hessische Altablagerungen, Altstandorte, sonstige schädliche Bodenveränderungen und Grundwasserschadensfälle erfasst.

Gaspermeabilität

Parameter zur Beschreibung der Eigenschaft eines Mediums, z.B. des Bodens, Gase durchströmen zu lassen.

Gefahr

Sachlage, bei der bei ungehindertem Ablauf des Geschehens in überschaubarer Zukunft mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein Schaden für mindestens ein Schutzgut eintreten kann.

Gefährdungspotenzial

Gesamtheit der möglichen Beeinträchtigungen von Schutzgütern in der Umgebung eines Gefahrenherdes oder einer Verdachtsfläche/Altlast. Das Gefährdungspotenzial von Schadstoffen ist im Wesentlichen eine Funktion der Stofftoxizität und Exposition.

Gefahrstoffe

Gemäß § 19 Abs. 2 Chemikaliengesetz (ChemG) sind Gefahrstoffe:

1. gefährliche Stoffe und Zubereitungen nach § 3a (explosionsgefährlich, giftig, krebserzeugend usw.),
2. Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse, die explosionsfähig sind,
3. Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse, aus denen bei der Herstellung oder Verwendung gefährliche oder explosionsfähige Stoffe oder Zubereitungen entstehen oder freigesetzt werden können.
4. Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse, die erfahrungsgemäß Krankheitserreger übertragen können.

Grundwasser

Unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdkruste zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich von der Schwerkraft bestimmt wird. Nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist Grundwasser alles unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden und Untergrund steht.

Grundwasserleiter

Geologische Formation bzw. Schicht, die ganz oder teilweise mit Grundwasser erfüllt ist und in der eine Grundwasserbewegung möglich ist.

Hintergrundbelastung

Der außerhalb des Einflussbereichs von Verdachtsflächen ermittelte Gehalt eines Schadstoffs oder einer Schadstoffgruppe im Boden, in Gewässern oder in der Luft. Hintergrundbelastungen für natürlich vorkommende Stoffe (z.B. Schwermetalle) geben im allgemeinen die Summe aus dem natürlichen (geogenen) und dem durch menschlichen Einfluss bedingten (anthropogenen) Anteil an. Hintergrundbelastungen können überregionalen, regionalen oder örtlichen Bezug haben oder auf naturräumliche Einheiten oder bestimmte Bodennutzungen bezogen sein.

Historische Erkundung

Die Historische Erkundung ist der erste Schritt bei der gezielten Untersuchung einzelner Altstandorte und Altablagerungen. Sie beinhaltet die Beschaffung und Auswertung aller relevanten Informationsquel-

len mittels Aktenrecherche, Karten- und Luftbilddauswertung, Ortsbegehung und Zeitzeugenbefragung.

Immission

Auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre, Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen (§ 3 Abs. 2 Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG).

Im Gegensatz zum Emissions-Begriff ist der Begriff der Immission empfängerorientiert, d.h. Immissionen sind die Emissionen, die wieder zur Erdoberfläche zurückkommen. Unter den Begriff Immission fallen auch die von einer Verdachtsfläche/Altlast hervorgerufenen Einwirkungen auf ihre Umgebung.

IR-Photometrie

Messverfahren, das die Absorptionsspektren von anorganischen und organischen festen, flüssigen oder gasförmigen Verbindungen im Infrarotbereich zur qualitativen bzw. quantitativen Analyse heranzieht.

Synonym: Infrarotspektroskopie, Infrarotspektrophotometrie

Kapillarraum

Bereich unmittelbar über der Grundwasseroberfläche, der zum Betrachtungszeitpunkt Kapillarwasser enthält.

Synonym: Kapillarsaum

Kluftbesatz

Beläge auf Kluftflächen, bestehend z.B. aus Quarz, Kalzit, Ton oder Lehm.

Kontamination

Durch menschliche Aktivitäten verursachte Verunreinigung der Umweltmedien (Boden, Wasser, Luft) von Organismen oder Gegenständen durch Schadstoffe oder pathogene Mikroorganismen. Eine Kontamination der Umweltmedien liegt in der Regel erst dann vor, wenn die Konzentrationen der Schadstoffe über den natürlich vorhandenen Konzentrationen der jeweiligen Stoffe in Luft, Wasser und Boden (Hintergrundbelastung) liegen.

Synonym: Verunreinigung

Kontaminationsfahne

Richtungsbezogene Ausbreitung von Schadstoffen, meist über Grund- oder Oberflächenwasser in Fließrichtung des Gewässers.

Kontaminationsquelle

Der Bereich einer Verdachtsfläche/Altlast, in dem Schadstoffe vorhanden sind, die benachbarte Schutzgüter bei entsprechender Exposition gefährden können. Innerhalb einer Verdachtsfläche/Altlast können mehrere Kontaminationsquellen vorhanden sein.

Konzentration

Anteil einer Komponente in einem Gemisch. Die verschiedenen Komponenten bzw. Stoffe können dabei in dem gleichen oder in verschiedenen Aggregatzuständen vorliegen. Die Konzentration kann z.B. in Form folgender Einheiten angegeben werden:

mg/kg	= ppm (part per million)
mg/l	= ppm
ml/m ³	= ppm
µg/kg (mg/t)	= ppb (part per billion)
µg/l	= ppb

LNAPL

Light non aqueous phase liquid. Flüssigkeit mit einer Dichte kleiner als Wasser, z.B. BTEX-Aromaten.

Medien

Im vorliegenden Kontext werden unter Medien die Umweltmedien Wasser, Boden (einschl. Bodenluft) und Luft verstanden.

Mischprobe

Repräsentative Durchschnittsprobe, die durch Vermischung definierter Einzelproben vor Ort oder in der Untersuchungsstelle hergestellt wird.

Vertikale Mischproben werden aus Bohrungen oder Schürfen über einen bestimmten Tiefenbereich (z.B. definierte Bodenschicht oder definierten Abschnitt innerhalb einer Bodenschicht) entnommen.

Horizontale Mischproben nach BBodSchV werden bei Böden mit homogener, oberflächennaher Schadstoffverteilung aus ca. 20 Einzelproben gebildet, die rasterförmig verteilt aus der zu untersuchenden Teilfläche entnommen werden.

Natural Attenuation

Natural Attenuation umfasst alle physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse, die ohne Eingriff des Menschen zu einer Verminderung der Masse, Toxizität, Mobilität oder Konzentration der Schadstoffe führen.

Organoleptisch

Allgemein wird darunter die sensorische Analyse von Geruch, Aussehen und Geschmack verstanden. Bei der Untersuchung altlastverdächtiger Flächen ist aus Gründen des Arbeitsschutzes nur Aussehen und Geruch (letzteres auch nur soweit eine Gefährdung durch Schadstoffe ausgeschlossen werden kann) festzustellen.

Orientierende Untersuchung

Örtliche Untersuchungen (insbesondere Messungen und Probenahmen mit anschließender Laboranalytik) auf der Grundlage der Historischen Erkundung um zu ermitteln, ob der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt ist, oder ob ein hinreichender Verdacht im Sinne des § 9 Abs. 2 BBodSchG besteht.

Phase

Bei thermodynamischen Systemen sind Phasen homogene (d.h. in allen ihren Teilen physikalisch gleichartige), durch scharfe Grenzflächen und daran anschließende Zwischenphasen gegeneinander abgegrenzte, optisch unterscheidbare und meist mechanisch voneinander trennbare Zustandsformen der Stoffe, z.B. flüssiges Wasser, Wasserdampf und Eis sind drei Phasen des Wassers.

Als Leichtphase (s. LNAPL) werden im vorliegenden Fall Stoffe bezeichnet, die spezifisch leichter sind als Wasser. Umgekehrt werden als Schwerphase (s. DNAPL) Stoffe bezeichnet, die spezifisch schwerer sind als Wasser.

Quellstärke

Die Quellstärke einer Kontamination ist ein Maß dafür, welche Schadstoffmenge pro Zeiteinheit in die Umgebung abgegeben wird.

Sanierung

Maßnahmen nach § 2 Abs. 7 BBodSchG

1. zur Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe (Dekontaminationsmaßnahmen),
2. die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern oder vermindern, ohne die Schadstoffe zu beseitigen (Sicherungsmaßnahmen),
3. zur Beseitigung oder Verminderung schädlicher Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Bodenbeschaffenheit.

Ziel aller Sanierungsmaßnahmen ist der langfristige Schutz von Mensch und Umwelt.

Schadensfall

Der im Titel dieses Handbuchs verwendete Begriff „Schadensfall“ entspricht dem Begriff „schädliche (stoffliche) Bodenveränderung“ gemäß BBodSchG.

Schadstoffe

Feste, flüssige oder gasförmige Stoffe, die durch anthropogene Aktivitäten in die Umwelt eingebracht werden und die geeignet sind Lebewesen, Ökosysteme und insbesondere den Menschen in messbarem Umfang zu schädigen. Eine Schädwirkung tritt erst oberhalb einer gewissen Konzentration und/oder einer gewissen Einwirkungsdauer ein.

Synonym: Umweltgefährdende Stoffe

Schadstoffinventar

Gesamtheit der innerhalb eines Gefahrenherdes oder einer Verdachtsfläche/Altlast vorhandenen Schadstoffe.

Schadstoffpotenzial

Das Schadstoffpotenzial einer Verdachtsfläche/Altlast wird bestimmt von:

1. der Art des Schadstoffs (Toxizität, Umweltrelevanz)
2. der Konzentration und Menge des Schadstoffs
3. der räumlichen Verteilung des Schadstoffs.

Schutzgüter

Durch Gesetze bzw. die Rechtsordnung geschützte Güter des Einzelnen (z.B. Leben, Gesundheit, Eigentum) und der Allgemeinheit (z.B. Reinheit des Wasserhaushalts).

Screening

Analysenmethode zur Orientierungsuntersuchung von Boden, Bodenluft und Wasser auf bestimmte Schadstoffe bzw. Stoffgruppen. Aus der Screeninganalyse lassen sich Hinweise auf nicht gezielt untersuchte Substanzen gewinnen, wie z.B. leicht- und schwerflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe.

Sicherung

Ergebnis von technischen Maßnahmen mit denen die Ausbreitung von Schadstoffen in der Umwelt langfristig vermindert oder verhindert wird. Dabei bleibt das Schadstoffpotenzial einer Altlast erhalten.

Sickerwasserprognose

Abschätzung der von einer schädlichen Bodenveränderung ausgehenden Schadstoffeinträge oder der in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Schadstoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser, unter Berücksichtigung von Konzentrationen und Frachten und bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone (§ 2 Abs. 2 Nr. 5 BBodSchV). Die Sickerwasserprognose kann über Grundwasseruntersuchungen, In-situ-Untersuchungen und Bodenuntersuchungen erfolgen.

Sorption

Vorgänge, bei denen ein Stoff durch einen anderen mit ihm in Berührung stehenden Stoff selektiv aufgenommen wird. Beispiele: Absorption, Adsorption, Resorption. Das Vermögen eines Stoffes andere Stoffe aufzunehmen bezeichnet man als Sorptionspotenzial.

Suffosion

Umlagerung/Austrag von Feinkorn im/aus dem Porenraum von Lockergesteinen, ohne dass dabei das (grobkörnige) Stützgerüst des Bodens zerstört wird.

Technische Erkundung

Der im Anschluss an die Erfassung und Historische Erkundung unter Einsatz technischer Hilfsmittel (u.a. chemische Analytik) durchgeführte Teil der Erkundung einer Verdachtsfläche.

Teer

Flüssiges bis halbfestes, schwarzes oder braunes Produkt der trockenen Destillation, z.B. von Steinkohle, Braunkohle, Holz und Torf. Steinkohlenteer besteht in erster Linie aus aromatischen Kohlenwasserstoff-Gemischen. Die chemische Zusammensetzung ist sehr unterschiedlich. Teer ist Ausgangsprodukt zahlreicher Teernebenprodukte.

Tenax-Röhrchen

Ein mit Adsorptionsmaterial gefülltes Glas-Röhrchen zur Anreicherung von Bodenluftinhaltsstoffen. Als Adsorptionsmaterial dient Polyphenylenoxid auf der Basis von 2,6-Diphenylphenol. Tenax ist das Warenzeichen für dieses Adsorbens.

Notizen:

Umweltgefährdende Stoffe

Stoffe oder Zubereitungen, die selbst oder deren Umwandlungsprodukte geeignet sind, die Beschaffenheit des Naturhaushalts von Wasser, Boden oder Luft, Klima, Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen derart zu verändern, dass dadurch sofort oder später Gefahren für die Umwelt herbeigeführt werden können (§ 3a Abs. 2 ChemG).

Wasserinhaltsstoffe

Die im Wasser gelösten und ungelösten organischen und anorganischen Stoffe.

Wirkungspfad

Weg eines Schadstoffs von der Schadstoffquelle bis zu dem Ort einer möglichen Wirkung auf ein Schutzgut.

Synonym: Ausbreitungspfad.

9 Literatur

- AHRENS, F. & BRODDE, P. (1994): Oberflächengeophysikalische Verfahren zur Bewertung von Flächen und Altablagerungen. – WLB Wasser, Luft und Boden, **9/1994**: 70–72; Mainz.
- BaustellV: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (1998): Baustellenverordnung – BaustellV vom 10.06.1998; BGBl I, S. 1283.
- BBodSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17.03.1998; BGBl I, S. 502.
- BBodSchV: Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung vom 12.07.1999, BGBl I, S. 1554ff.
- BGR 128: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (1997): – BG-Regel **128**: Kontaminierte Bereiche.
- BWK 2000: Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (2000): Instrumente zur Sickerwasserprognose, Sachstandsbericht, Stand 03/2000. – BWK-Materialien, 1/2000; Sindelfingen.
- DASIMA: Datenbank zur Auswahl von Simulationsprogrammen bei der Altlastenbearbeitung (www.umwelt.sachsen.de/lflug/Dasima).
- DEHNERT, J., KUHN, K., GRISCHEK, T., LANKAU, R. & NESTLER, W. (2001): Eine Untersuchung zum Einfluss voll verfilterter Messstellen auf die Grundwasserbeschaffenheit. – Grundwasser, **4/2001**; Heidelberg.
- DIN 4020 (1990): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke; Berlin (Beuth).
- DIN 4021 (1990): Baugrund-Aufschluß durch Schürfe, Bohrungen und Entnahme von Proben; Berlin (Beuth); seit 2007 nicht mehr gültig.
- DIN 4022-1 (1987): Baugrund und Grundwasser – Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Teil 1: Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels; Berlin (Beuth); seit 2007 nicht mehr gültig.
- DIN 4022-2 (1981): Baugrund und Grundwasser – Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Teil 2: Schichtenverzeichnis für Bohrungen im Fels (Festgestein); Berlin (Beuth); seit 2007 nicht mehr gültig.
- DIN 4022-3 (Mai 1982): Baugrund und Grundwasser – Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Teil 3: Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein); Berlin (Beuth); seit 2007 nicht mehr gültig.
- DIN 4023 (2006): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen; Berlin (Beuth).
- DIN 4049-1 (1992): Hydrologie, Teil 1: Grundbegriffe (teilweise Ersatz für Ausgabe 09.79); Berlin (Beuth).
- DIN 4049-3 (1994): Hydrologie; Teil 3: Begriffe, quantitativ; Berlin (Beuth).
- DIN 4123 (2013): Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude; Berlin (Beuth).
- DIN 4124 (1981): Baugruben und Gräben – Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau; Berlin (Beuth).
- DIN 4924 (Entwurf 2012): Sande und Kiese für den Brunnenbau – Anforderungen und Prüfungen; Berlin (Beuth).
- DIN EN ISO 5667-1 (2007): Wasserbeschaffenheit – Probenahme; Teil 1: Anleitung für die Erstellung von Probenahmeprogrammen und Probenahmetechniken; Berlin (Beuth).
- DIN EN ISO 5667-3 (2013): Wasserbeschaffenheit – Probennahme, Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben; Berlin (Beuth).
- DIN EN ISO 5667-15 (2010): Wasserbeschaffenheit – Probennahme, Teil 15: Anleitung zur Konservierung und Handhabung von Schlamm- und Sedimentproben; Berlin (Beuth).
- DIN EN ISO 9001 (2000): Qualitätsmanagement- und Qualitätssicherungsnormen; Berlin (Beuth).
- DIN ISO 10381-1 (2003): Bodenbeschaffenheit – Probenahme, Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahmeprogrammen; Berlin (Beuth).
- DIN ISO 10381-2 (2003): Bodenbeschaffenheit – Probenahme, Teil 2: Anleitung für Probenahmeverfahren; Berlin (Beuth).
- DIN ISO 10381-5 (2007): Bodenbeschaffenheit – Probenahme, Teil 5: Anleitung für die Vorgehensweise bei der Untersuchung von Bodenkontaminationen auf urbanen und industriellen Standorten; Berlin (Beuth).
- DIN 11466 (1997): Bodenbeschaffenheit – Extraktion in Königswasser löslicher Spurenelemente; Berlin (Beuth).
- DIN EN ISO 14688-1 (2013): Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden, Teil 1: Benennung und Beschreibung; Berlin (Beuth).

- DIN EN ISO 14688-2 (2013): Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden, Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen; Berlin (Beuth).
- DIN EN ISO 14689-1 (2011): Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels, Teil 1: Benennung und Beschreibung; Berlin (Beuth).
- DIN EN ISO/IEC 17025 (2005): Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien; Berlin (Beuth).
- DIN 18123 (2011): Baugrund; Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung; Berlin (Beuth).
- DIN 18196 (2011): Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke; Berlin (Beuth).
- DIN 19730 (1997): Bodenbeschaffenheit – Extraktion von Spurenelementen mit Ammoniumnitratlösung; Berlin (Beuth).
- DIN ISO 22155 (2006): Bodenbeschaffenheit – Gaschromatografische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether; Berlin (Beuth).
- DIN EN ISO 22475-1 (2006): Geotechnische Erkundung und Untersuchung, Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung; Berlin (Beuth).
- DIN 38402-12 (1985): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Allgemeine Angaben (Gruppe A), Teil 12: Probenahme aus stehenden Gewässern (A12); Berlin (Beuth).
- DIN 38402-13 (1985): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Allgemeine Angaben (Gruppe A), Teil 13: Probenahme aus Grundwasserleitern (A13); Berlin (Beuth).
- DIN 38402-15 (2010): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Allgemeine Angaben (Gruppe A), Teil 15: Probenahme aus Fließgewässern (A15); Berlin (Beuth).
- DIN 38402-30 (1998): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Allgemeine Grundlagen (Gruppe A), Teil 30: Vorbehandlung, Homogenisierung und Teilung heterogener Wasserproben (A30); Berlin (Beuth).
- DIN 38404-5 (1984): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C), Teil 5: Bestimmung des pH-Wertes (C5); Berlin (Beuth).
- DIN 38404-6 (1984): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C), Teil 6: Bestimmung der Redox-Spannung (C6); Berlin (Beuth).
- DIN 38414-4 (1984): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Schlamm und Sedimente (Gruppe S), Teil 4: Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4); Berlin (Beuth).
- DIN 38414-11 (1987): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Schlamm und Sedimente (Gruppe S), Teil 11: Probenahme von Sedimenten (S11); Berlin (Beuth).
- DIN EN 45001 (1990): Allgemeine Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien; Berlin (Beuth).
- DÖRR, H., ROBOLD, E. & PAETZELT, R. (1993): Sicherheitsbetrachtungen zu Deponien im Hinblick auf den Grundwasserschutz am Beispiel der geplanten Restmülldeponie Arzbach. – Müll und Abfall **9/93**: 3–11; Berlin.
- DVGW 111: DVGW-Arbeitsblatt W **111** (1997): Planung, Durchführung und Auswertung von Pumpversuchen bei der Wassererschließung; Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH; Bonn.
- DVGW 112: DVGW-Arbeitsblatt W **112** (2012): Grundsätze der Grundwasserprobenahme aus Grundwassermessstellen; Bonn.
- DVGW 115: DVGW-Arbeitsblatt W **115** (2008): Bohrungen zur Erkundung, Beobachtung und Gewinnung von Grundwasser; Eschborn.
- DVGW 116: DVGW-Merkblatt W 116 (1998): Verwendung von Spülungszusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwasser; Eschborn.
- DVGW 121: DVGW-Merkblatt W **121** (2003): Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen; Eschborn.
- DVGW 135: DVGW Merkblatt W **135** (1998): Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermessstellen und Brunnen; Bonn.
- DVWK 107: DVWK-Schriften **107** (1994): Grundwassermessgeräte; Bonn.
- DVWK 125: DVWK-Schriften **125** (1999): Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit; Bonn.
- DVWK 128: DVWK-Regeln **128** (1992): Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben; Bonn.
- DVWK 217: DVWK-Merkblatt **217** (1990): Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzen-Methode; Hamburg.

- DVWK 245: DVWK-Merkblatt **245** (1997): Tiefenorientierte Probennahme aus Grundwassermessstellen; Bonn.
- DWA 905: DWA-Merkblatt **905** (2012): Gewinnung von Bodenlösung – Beprobungssysteme und Einflussgrößen; Hennef.
- EG 2001: Verordnung (EG) Nr. 466/2001 der Kommission vom 08.03.2001 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln, ABl. L77/1 vom 16.03.2001.
- Eijkelkamp (1993): Montage und Handhabung des Beeker Samplers. – Broschüre der Firma Eijkelkamp Agrisearch Equipment; Giesbeek (Niederlande).
- EU-WRRL 2000: Wasserrahmenrichtlinie, Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, ABl. L327/1 vom 22.12.2000.
- FBU: Fachbeirat Bodenuntersuchung im Umweltbundesamt (2013): Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung in der jeweiligen Fassung; www.umweltbundesamt.de.
- FH-DGG: Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (1999): Hydrogeologische Modelle. – Schr.-R. dt. geol. Ges., **10**; Hannover.
- FutMV: Futtermittelverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Juli 2013 (BGBl. I, S. 2242).
- GASSNER, E. & WINKELBRAND, A. (1990): UVP Umweltverträglichkeitsprüfung in der Praxis; München (Franz Rehm).
- GAT, J.R. & GONFIANTINI, R. (1981): Stable Isotope Hydrology – Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle. – International Atomic Energy Agency (IAEA), Technical Reports, Series No. 210; Wien.
- GefStoffV: Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen. – Gefahrstoffverordnung vom 26.11.2010, BGBl. I, S. 1643; Bonn.
- GEYH, M.A. (1998): Isotopenhydrologisches Instrumentarium. – In: SCHREINER, M. & KREYSING, K.: Geotechnik, Hydrogeologie. – Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Bd. **4**: 509–529; Heidelberg (Springer).
- HAItBodSchG: Hessisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und zur Altlastensanierung (Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz) vom 28.9.2007, GVBl. I, S. 652.
- HLFU: Hessische Landesanstalt für Umwelt (1998): Handbuch Altlasten, Bd. **7**: Analyseverfahren – Fachgremium Altlastenanalytik, Teil 1: Bestimmung von PAK in Feststoffen aus dem Altlastenbereich; Wiesbaden.
- HLUG 2000a: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2000): Handbuch Altlasten, Bd. **7**: Analysenverfahren – Fachgremium Altlastenanalytik, Teil 4: Bestimmung von BTEX/LHKW in Feststoffen aus dem Altlastenbereich; Wiesbaden.
- HLUG 2000b: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2000): Laboranalytik bei Altlasten – Stoffsammlung – Schr.-R. Umweltplanung, Arbeits- u. Umweltschutz, **217**; Wiesbaden.
- HLUG 2001a: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2001): Altlastenausschuss der LABO, Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbehandlung, Teilthemen zur Erprobung in den Ländern, Stand 10/2000; Wiesbaden.
- HLUG 2001b: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2001): Handbuch Altlasten, Bd. **7**: Analyseverfahren – Fachgremium Altlastenanalytik, Teil 3: Bestimmung von Mineralölkohlenwasserstoffen mittels Kapillargaschromatographie in Feststoffen aus dem Altlastenbereich; Wiesbaden.
- HLUG 2002: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2002): Handbuch Altlasten, Bd. **3**, Teil 3: Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden → Grundwasser: Sickerwasserprognose. – 2. Aufl.; Wiesbaden.
- HLUG 2005a: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2005): Handbuch Altlasten, Bd. **8**, Teil 1: Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser. – 2. Aufl.; Wiesbaden.
- HLUG 2005b: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2005): Handbuch Altlasten, Bd. **8**, Teil 2: Arbeitshilfen zur Überwachung und Nachsorge von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten; Wiesbaden.
- HLUG 2012: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2012): Handbuch Altlasten, Bd. **3**, Teil 1: Einzelfallrecherche; Wiesbaden.
- HÖLTING, B. (1995): Hydrogeologie. – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – 5. Aufl.; Stuttgart (Enke).
- Human-Biomonitoring (1996): Definition, Möglichkeiten und Voraussetzungen. – Bundesgesundhbl., **39** (6), 213–214.

- HWG: Hessisches Wassergesetz vom 14.12.2010, GVBl. I, S. 548.
- ISO 5667-4 (April 1987): Wasserbeschaffenheit – Probenahme, Teil 4: Richtlinie für die Probenahme aus natürlichen und künstlichen Seen; Berlin (Beuth).
- ISO 5667-6 (Juli 2005): Wasserbeschaffenheit – Probenahme, Teil 6: Hinweise zur Probenahme aus Fließgewässern; Berlin (Beuth).
- ISO 5667-11 (April 2009): Wasserbeschaffenheit – Probenahme, Teil 11: Hinweise zur Probenahme von Grundwasser; Berlin (Beuth).
- ITVA: Ingenieurtechnischer Verband Altlasten (1995): Arbeitshilfe „Aufschlußverfahren zur Probengewinnung für die Untersuchung von Verdachtsflächen und Altlasten“; Berlin.
- KA 5 kurz: Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz. – Auszug aus der KA 5; BGR 2009
- KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. & LANGE, G. (Hrsg.)(2005): Geophysik. – Handbuch zur Erkundung des Untergrunds von Deponien und Altlasten, Bd. 3, 2. Aufl.; Berlin (Springer).
- KORA 2008: BMBF-Förderschwerpunkt „Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden“ (2008): Synopse des KORA-Themenverbundes 7 „Modellierung, Prognose“; <http://www.natural-attenuation.de/download.html>.
- KORA 2008a: BMBF-Förderschwerpunkt „Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden“ (2008): Handlungsempfehlungen mit Methodensammlung; <http://www.natural-attenuation.de/download.html>.
- LABO 2002: Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2002): Arbeitshilfe Qualitätssicherung; www.labo-deutschland.de.
- LABO 2008: Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2008): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen, Stand 2006 mit redaktionellen Anpassungen 2008; www.labo-deutschland.de.
- LABO 2008a: Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten – Informationsblatt für den Vollzug; www.labo-deutschland.de.
- LABO 2012: Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2012): Fachmodul Boden und Altlasten – Notifizierung und Kompetenznachweis von Untersuchungsstellen im bodenschutzrechtlich geregelten Umweltbereich; www.labo-deutschland.de.
- LAGA PN 98: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (1998): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen; Technische Regeln. – 4. Aufl.; Berlin.
- LAGA 2001: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (2001): LAGA-Richtlinie PN 98: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. – Stand 12/2001; www.laga-online.de.
- LAGA 2012: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (2012): LAGA-Methodensammlung Abfalluntersuchung, Version 2.0, Stand 2012; www.laga-online.de.
- LFP 2013: Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“ (2013): Untersuchung und Bewertung von Hilfsstoffen zur Konservierung bzw. Stabilisierung von organischen Schadstoffen in Grundwasserproben; www.laenderfinanzierungsprogramm.de.
- LFUG 1999: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (1999): Materialien zur Altlastenbehandlung – Vor-Ort-Analytik; Dresden.
- LMBG: Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände-gesetz (1994); § 35: Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren; Berlin (Beuth).
- LÖFFELHOLZ, R. (1989): Erkundung von Altlasten mit Dräger-Röhrchen. – Drägerheft 343; Lübeck.
- LUA-NRW 2000: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung von Säulenversuchen gemäß Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). – Merkblatt 20.
- LUA-NRW: OBERMANN, P. & CREMER, S. (1993): Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern von belasteten Böden und Deponien. – Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, 6; Düsseldorf
- LUBW: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (1999): Branchen-katalog zur historischen Erhebung von Altstandorten Version 3.0.
- MEYER, A. & KELLING, A. (1994): Schnelltestverfahren im Vorfeld der Umweltanalytik. – CLB Chemie in Labor und Biotechnik, 7/1994; Gaiberg b. Heidelberg.
- MOSER, H. & RAUERT, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie. – Lehrbuch der Hydrogeologie; Bd. 8; Stuttgart (Borntraeger).

- MÜLLER, M. & SCHMIECHEN, K. (2012): Humanbiomonitoring im Bevölkerungsschutz. – Forschung im Bevölkerungsschutz, Bd. **16**; Bonn (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe).
- OSTER, H. (1994): Datierung von Grundwasser mittels FCKW – Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen; Diss. Univ.Heidelberg.
- PULS, W.R. & BARCELONA, M.B. (1996): Low-flow (minimal draw down) groundwater sampling procedures. – US-Environmental Protection Agency, EPA/540/S-95/504.
- RICHNOW, H.H. & MECKENSTOCK, R.U. (1999): Isotopen-geochemisches Konzept zur In-situ-Erfassung des biologischen Abbaus in kontaminiertem Grundwasser. – TerraTech, **5/99**, 38–41; Mainz.
- RIPPEN, G. (2010): Handbuch Umweltchemikalien – Stoffdaten, Prüfverfahren. – Vorschriften (Loseblatt-Sammlung und CD-Rom), 89. Erg. Lfg. Stand 2010; Landsberg (ecomед-Verlag).
- SCHREINER, M. & KREYSING, K. (1998): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. – Geotechnik, Hydrogeologie, Bd. **4**; Heidelberg (Springer).
- SCHULZ, H. & WIENBERG, R. (1994): Bodenansprache bei altlastverdächtigen Auffüllungen. – altlasten spektrum, **2/1994**; Berlin.
- TOUSSAINT, B. (1994): Umweltproblematik und Hydrogeologie der Erkundung von Boden- und Grundwasserkontaminationen durch leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe. – Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, **168**; Wiesbaden.
- TRGS 524: Technische Regeln für Gefahrstoffe 524 (2010): Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen. – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausgabe Feb. 2010, GMBI. 2010, Nr. 21, 419–450.
- UBA: Umweltbundesamt (2000): Einschätzung der Bodenqualität mit Hilfe pflanzlicher und tierischer Bioindikatoren. – Texte 36/00; Berlin.
- VBG: Verband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften (1991): Allgemeine Vorschriften. – VBG 1; Sankt Augustin.
- VDI 2100-1: Verein Deutscher Ingenieure (Juni 2008): VDI-Richtlinie 2100, Bl. 1: Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen. – Berlin (Beuth).
- VDI 3492-1: Verein Deutscher Ingenieure (August 1991): VDI-Richtlinie 3492, Bl. 1: Messen anorganischer faserförmiger Partikel in der Außenluft – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren; Berlin (Beuth).
- VDI 3492-2: Verein Deutscher Ingenieure (Juni 1994): VDI-Richtlinie 3492, Bl. 2: Messen von Innenraumluftverunreinigungen; Messen anorganischer faserförmiger Partikel; Meßplanung und Durchführung der Messung; Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren; Berlin (Beuth).
- VDI 3790-2: Verein Deutscher Ingenieure (Dezember 2000): VDI-Richtlinie 3790, Bl. 2: Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Deponien; Berlin (Beuth).
- VDI 3865-1: Verein Deutscher Ingenieure (2005): VDI-Richtlinie 3865, Bl. 1: Messen organischer Bodenverunreinigungen – Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen; Berlin (Beuth).
- VDI 3865-2: Verein Deutscher Ingenieure (Januar 1998): VDI-Richtlinie 3865, Bl. 2: Messen organischer Bodenverunreinigungen – Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben; Berlin (Beuth).
- VDI 3865-3: Verein Deutscher Ingenieure (Juni 1998): VDI-Richtlinie 3865, Bl. 3: Messen organischer Bodenverunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft nach Anreicherung an Aktivkohle oder XAD-4 und Desorption mit organischem Lösungsmittel; Berlin (Beuth).
- VDI 3865-4: Verein Deutscher Ingenieure (Dezember 2000): VDI-Richtlinie 3865, Blatt 4: Messen organischer Bodenverunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft durch Direktmessung; Berlin (Beuth).
- VDLUFA 2000a: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2000): VDLUFA Methodenbuch, Bd. **II.2**: Die Untersuchung von Sekundärrohstoffdüngern, Kultursubstraten und Bodenhilfsstoffen; Darmstadt.
- VDLUFA 2000b: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2000): Methodenbuch, Bd. **VII**: Umweltanalytik; Darmstadt.
- VOGELANG, D. (1993): Geophysik an Altlasten; Berlin (Springer).

Anhang

Standardgliederung für Gutachten zur Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen

Die Altlastenbearbeitung in Hessen sieht eine abgestufte Vorgehensweise bei der Erfassung, Einzelfallrecherche/Gefahrerforschung und Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen vor. Eine einheitliche Bewertung erfordert grundsätzlich auch eine einheitliche Vorgehensweise. Wesentlich für die Qualitätssicherung ist neben dem Einsatz geeigneter Erkundungsmethoden eine umfassende Dokumentation der verwendeten Verfahren und ermittelten Daten sowie eine aussagekräftige Darstellung der Untersuchungsergebnisse im Gutachten.

Um den Büros und den Fachbehörden die Arbeit zu erleichtern, werden im folgenden Inhaltsverzeichnis für Gutachten die wesentlichen Gliederungspunkte benannt.

Die nachfolgend genannten Kapitel sollten in den Gutachten/Berichten in dieser Reihenfolge verwendet werden. Die Aufzählungspunkte in den einzelnen Kapiteln bzw. Unterkapiteln kennzeichnen optionale Inhalte, die je nach Fragestellung enthalten sein können.

Inhaltsverzeichnis:

Verzeichnis der Anlagen

- Lagepläne
- Abbildungen
- Tabellen
- Formulare zur Datenerhebung bei Altflächen

Zusammenfassung

1 Einleitung

- 1.1 Veranlassung
- 1.2 Aufgabenstellung

2 Datenbasis der vorliegenden Untersuchungen

- vorhandene Gutachten, z. B. Baugrundgutachten
- Akten, Pläne, Karten
- Zeitzeugenbefragungen
- Luftbildauswertungen, multitemporale Kartenanalyse
- vorhandene Informationen über Hintergrundbelastungen

3 Standortbeschreibung

- 3.1 Identität der altlastverdächtigen Fläche gemäß Formulare zur Datenerhebung bei Altflächen
 - Schlüsselnummer der altlastverdächtigen Fläche (Altlasten-Informationssystem Hessen ALTIS)
 - Altflächenadresse: Kreis, Stadt, Gemeinde, Ortsteil, Gemarkung usw.
 - Geographische Lage
 - Gelände: Fläche, Volumen, usw.
- 3.2 Historie des Standortes
 - Bau- und Nutzungsgeschichte (zeitliche Entwicklung, einzelne Ereignisse, z.B. Brand, Unfälle ...)
 - Ergebnisse von Befragungen und Aktenauswertungen
 - Auswertung alter Zeitschriften, Zeitungen, Firmeninformationen
 - Auswertung von Branchenverzeichnissen oder Industrieerhebungen
 - Auswertung von Karten und Luftbildern, alten Fotos

- Ergebnisse der Geländebegehungen (evtl. Kampfmittelräumdienst) mit Angaben zu Materialien der Baustanz
- 3.3 Gefahrenpotenzial der Schadstoffe mit denen am Standort umgegangen wurde
- 3.4 Nutzungen (aktuell und geplant)
- am Standort
 - im (weiteren) Umfeld
- 3.5 Geologische und hydrogeologische Standortgegebenheiten
- Untergrundbeschaffenheit
 - Grundwasserverhältnisse (Auswertung vorhandener Grundwasseraufschlüsse wie Brunnen, Messstellen, usw.)
 - Oberflächengewässer (Quellen, Flüsse, Seen in der näheren Umgebung)
 - Lage in Heilquellen- oder Wasserschutzgebiet
- 3.6 Sonstige für die Untersuchung bedeutsame Standortgegebenheiten

4 Feldarbeiten

- Geländebegehungen
- geomorphologische Beobachtungen
- Kartierungen
- Bohrungen, Sondierungen, Schürfe, usw.
- Bau von Beobachtungsbrunnen usw.
- Bestands- und Funktionsprüfungen vorhandener Beobachtungsbrunnen etc.

5 Probennahmen, Messungen, Feldversuche

- 5.1 Probennahmen
- Wasser (Sickerwasser, Grundwasser, Oberflächenwasser)
 - Boden
 - Bodenluft und Raumluft
- 5.2 Messungen, Vor-Ort-Analytik
- Hydraulische Untersuchungen
 - Wasserstandsmessungen
 - Abflussmessungen
 - Qualitätskontrolle an neu errichteten Beobachtungsbrunnen
 - Chemische Vor-Ort-Analytik

6 Laboruntersuchungen - Qualitätskontrolle (Laborprotokolle, Verfahren, Nachweisgrenzen, Messunsicherheit)

- Wasser
- Boden
- Bodenluft und Raumluft

7 Untersuchungsergebnisse (Darstellung und Auswertung)

- 7.1 Gewässer
- Grundwasser
 - Sickerwasser
 - Oberflächenwasser
- 7.2 Boden
- Boden
 - Eluat
- 7.3 Bodenluft und Raumluft

8 Zusammenfassung und Diskussion der Untersuchungsergebnisse

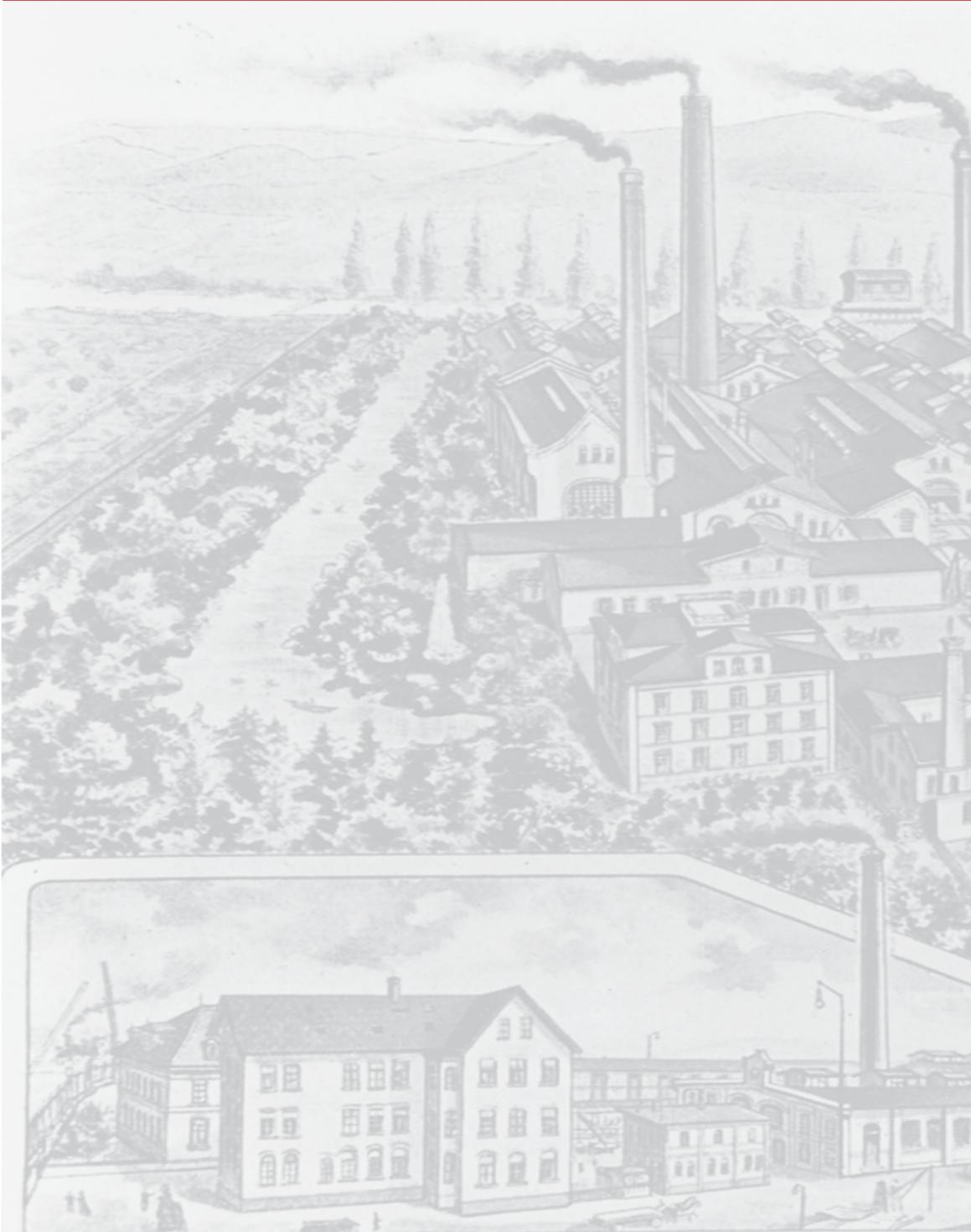
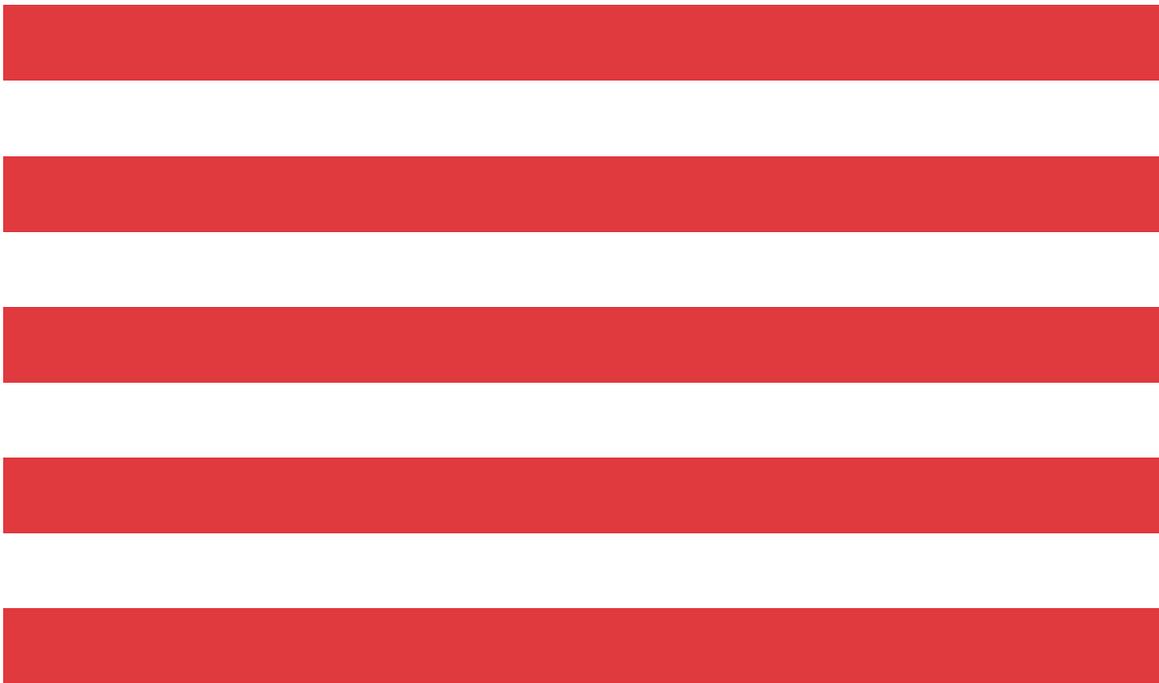
- 8.1 Aussagen zu geogenen und anthropogenen Belastungen
- 8.2 Gefährdungsabschätzung im Hinblick auf bestehende Nutzung oder Folgenutzung bezüglich möglicher Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit
- 8.3 Handlungsbedarf
 - Archivierung
 - Überwachung/Kontrolle
 - Nutzungseinschränkungen
 - weiterführende Untersuchungen
 - Sicherung/Sanierung

9 Anlagen

- 9.1 Pläne
 - Lageplan, Übersichtsplan $M = 1:10\,000$ bis $M = 1:50\,000$
 - Lageplan, Kennzeichnung des Untersuchungsgebietes $M = 1:5\,000$, evtl. kleiner
 - Geologische Übersichtskarte $M = 1:25\,000$
 - Lagepläne: Standort GW-Messstellen, GW-Entnahmehrungen, Bohrungen (auf NN), frühere Nutzung
 - Grundwassergleichenplan, GW-Fließrichtung
 - Geländeschnitte auf der Grundlage von Sondierungen, Bohrungen, Schürfen
 - Darstellung der Messergebnisse in Lageplänen (vertikale und horizontale Darstellung der relevanten Parameter): Schadstoffgehalte Boden, Bodenluft, Grundwasser
 - Darstellung von Sanierungs- und Kontaminationsbereichen
- 9.2 Laborbefunde (gemäß Formular zur Datenerhebung bei Altflächen)
- 9.3 Schichtenverzeichnis DIN 4022
 - Profildarstellung DIN 4023
 - Bodenklassifizierung DIN 18196
- 9.4 Ausbauzeichnungen der Grundwassermessstellen
- 9.5 Formulare zur Datenerhebung bei Altflächen, HLFU-Handbuch Altlasten, Anlage 1
- 9.6 Fotodokumentation
- 9.7 Pumpversuch (Graphische Darstellung)

Zusätzliche Anforderungen an Gutachten

1. Gutachten/Berichte sollen im Format DIN A4 (Pläne sind DIN-gerecht zu falten) erstellt werden und geeignet für die Ablage in Aktenordnern sein.
2. Die Anzahl der Exemplare richtet sich nach dem jeweiligen Bedarf. Mindestens 1 Exemplar soll dem Auftraggeber in kopierfähiger Form übergeben werden.
3. Bei Bedarf können Zwischenberichte erstellt werden.
4. Die Seiten des Gutachtens inkl. Anlagen sind fortlaufend zu nummerieren.
5. Nach Absprache mit dem Auftraggeber sind die Ergebnisse des Gutachtens auch auf elektronischem Datenträger zu übergeben.



Hessisches Landesamt
für Umwelt und Geologie

www.hlug.de