

# **Materialien zur Altlastenbehandlung 3/1998**

## **Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten**

*Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie*

### **Vorwort**

Bei der Technischen Erkundung von Altlast-Verdachtsflächen sind sowohl eventuelle Schadstoffgehalte in den verschiedenen Umweltmedien als auch die konkreten Standortfaktoren zu ermitteln. Entscheidenden Einfluß auf die Repräsentativität der Meßwerte hat dabei eine qualifizierte Probenahme.

Diese Erkenntnis führte in den vergangenen zwei Jahren zu einer Fülle von Empfehlungen aus den jeweiligen Fachgebieten, die im vorliegenden Materialienband in einem einheitlichen Rahmen für Boden, Grundwasser, Bodengas und Deponiegas zusammengestellt wurden.

Der Band soll den in der Altlastenerkundung tätigen Praktikern und Behörden eine Arbeitshilfe und zugleich Grundlage einer Qualitätssicherung sein.

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie nimmt Anregungen und Hinweise zum Inhalt gern entgegen.

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kinze

Präsident des Sächsischen Landesamtes

für Umwelt und Geologie

# 1 Bedeutung der Probenahme

Die Aussagekraft eines Analysenwertes wird maßgeblich von der Probenahme bestimmt. Es ist müßig, die Genauigkeit der Laboranalytik immer weiter zu treiben ohne zu beachten, daß bereits die Probenahme große Fehlermöglichkeiten in sich birgt. Dies gilt insbesondere bei der in der Regel inhomogenen Verteilung von Schadstoffen in Boden, Wasser und Luft, wie sie bei der Altlastenerkundung anzutreffen ist.

Man unterscheidet zweckmäßigerweise zwei Stufen der Probenahme:

- Festlegung und Ausbau der Probenahmestellen (Probenahmestrategie und Probenahmetechnik) und
- Entnahme der Probe für die Untersuchung (Probenahme im engeren Sinne).

Die Probenahmestrategie erfordert Kenntnisse über die Verdachtsfläche und eine daraus abgeleitete Untersuchungsstrategie. Aus der Historischen Erkundung ergeben sich Hinweise über die Art und Verteilung der Schadstoffe, Standortfaktoren sowie relevanten Pfade und Schutzgüter. Die Orientierende Erkundung dient dem Ziel, die Art und Konzentration der Schadstoffe und die Standortfaktoren durch Meßwerte zu beschreiben, die Lage des Schadherdes zu ermitteln und über eine Weiterführung der Erkundung zu entscheiden. Die Detailerkundung baut darauf auf und muß alle Meßwerte liefern, die eine abschließende Gefährdungsabschätzung und eine verbindliche Aussage über die Notwendigkeit einer Sanierung ermöglichen. Diesen vom jeweiligen Beweisniveau abhängigen Zielen ist die Probenahmestrategie optimal anzupassen. Die Festlegung der Probenahmestrategie kann daher nur durch den Bearbeiter des konkreten Altlasten-Verdachtsfalles selbst erfolgen und erfordert eine integrale Betrachtungsweise über alle Medien.

Die Probenahme im engeren Sinne muß in direkter Abstimmung mit dem Untersuchungslabor erfolgen und sollte nur von entsprechend qualifiziertem Personal vorgenommen werden. Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit sind unverzichtbare Eigenschaften eines Probenehmers.

Eine Standardisierung von Probenahmeverfahren für die Altlastenerkundung befindet sich erst in den Anfängen und ist infolge der Komplexität der Altlastenfälle nur begrenzt möglich. Andererseits ist eine einheitliche Vorgehensweise die Grundlage einer Qualitätssicherung für die Technische Erkundung von Altlasten. Der vorliegende Materialienband faßt in Auswertung vorhandener aktueller Sachstandsanalysen den „Stand der Technik“ bei der Probenahme zur Altlastenerkundung in den Medien Boden, Wasser und Luft zusammen und gibt Empfehlungen für die Anwendung im Rahmen der Sächsischen Altlastenmethodik. Eine Probenahme in Altablagerungen wird nicht beschrieben, weil es keine allgemeingültige Empfehlung gibt, zu repräsentativen Proben zu gelangen. Die Analytik zur Altlastenerkundung ist einem gesonderten Band vorbehalten.

## 2 Boden

### 2.1 Probenahmestrategie

#### 2.1.1 Allgemeines

Die **Probenahmestrategie** für die Bodenuntersuchung von Standorten umfaßt die begründete Auswahl bzw. Festlegung über

- die Untersuchungsfläche und
- die Geometrie der Anordnung der Probenahmepunkte im zu untersuchenden Bodenkörper in horizontaler und vertikaler Richtung.

Die zu wählenden Maßnahmen einer geeigneten Probenahmestrategie müssen sichern, daß im Ergebnis der Technischen Erkundung eine repräsentative Aussage über Art, Konzentration und Verteilung der Schadstoffe im Bodenkörper getroffen werden kann.

Für die Festlegung einer geeigneten Probenahmestrategie sollte eine ausgiebige Begehung des Untersuchungsgebietes vorausgehen, da genaue Ortskenntnisse eine Voraussetzung für eine zweckmäßige Festlegung der Aufschlußpunkte sind. Weitere wichtige Anhaltspunkte hierfür liefern die Ergebnisse der Historischen Erkundung.

#### 2.1.2 Festlegung der Probenahmestellen in horizontaler Richtung

##### 2.1.2.1 Beprobungsraster bei unbekannter Schadstoffverteilung

Sofern einzelne potentielle Schadensherde nicht bekannt sind, sollten zur Ermittlung der Stoffkonzentrationen die **Probenahmepunkte** – soweit möglich – nach einem geometrischen Raster angesetzt werden. Bei vermutet stark heterogenen Untersuchungsflächen ist zu prüfen, ob eine Abgrenzung von Belastungsschwerpunkten und unbelasteten Bereichen möglich ist.

Die geometrische Anordnung der Bohrpunkte untereinander bestimmt die Güte des Punktrasters. Ein gebräuchliches Kriterium dafür ist die größte durch eine Zelle des Rasters nicht erkundete Fläche. Wegen einer Vergleichbarkeit verschiedener Rastergeometrien wird diese Fläche durch die Umkreisfläche der Rasterzelle beschrieben. Angestrebt wird eine Punktgeometrie, bei der die Umkreisfläche möglichst klein ist.

Das ist bei einem Netz gleichseitiger Dreiecke der Fall. Bei gleichem Punktabstand ergeben in der Reihenfolge Quadratraster, Rechteckraster und Trapezraster jeweils größere

Umkreisflächen, und diese sind somit als weniger optimal zu bewerten.

## Vor- und Nachteile der Verfahren:

Quadratische Raster		Dreiecksraster	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
Vor Ort leicht einzumessen.	Im Vergleich zum Dreiecksraster sind bei gleicher Anzahl der Entnahmepunkte die Flächen, die theoretisch nicht erfaßt werden, größer.	Geht man von einer kreisförmigen Ausdehnung der kontaminierten Fläche aus, so ist die Fläche, die eine Verunreinigung besitzen muß, um sicher entdeckt zu werden, um ca. 15 % kleiner als bei einem quadratischen oder rechteckigen Raster (bei gleicher Anzahl der Entnahmepunkte).	Die Festlegung der Entnahmepunkte vor Ort ist schwieriger.
Vorteile beider Raster im Vergleich zum unregelmäßigen Raster: – Eine im Rahmen der Detailuntersuchung notwendige Verdichtung des Rasters ist leicht durchzuführen, wobei frühere Entnahmepunkte einbezogen werden können. – Die Rückübertragung der Meßwerte auf das Gitter und die Interpolation der Werte sind einfach durchzuführen.			

In der Phase der Orientierenden Erkundung sollte die flächenhafte Abgrenzung einer Verdachtsfläche bei fehlenden Kenntnissen über Lage und Ausbreitung von Kontaminationen systematisch in einem grobmaschigen Probepunktraster über die gesamte Untersuchungsfläche mit Erfassung der unbelasteten Bereiche erfolgen. Die Vornutzung des Geländes und die in Frage kommenden Schadstoffparameter sind mitbestimmend für die Probenahmepunktdichte. Im allgemeinen ist ein Abstand der Entnahmepunkte von ca. 30 % der Kantenlänge der zu untersuchenden Fläche, maximal jedoch 100 m, ausreichend.

Im Rahmen der Detailuntersuchungen sind dagegen in Abhängigkeit von der Flächengröße und den Gegebenheiten vor Ort Rasterweiten von etwa 20m x 20m bis 50m x 50m zur Beantwortung wirkungspfadspezifischer Fragestellungen üblich. Bei Flächen, die größer als 100 ha sind, ist eine Aufweitung des Rasters auf bis zu 100m x 100m möglich. Bei sehr kleinen Flächen (unter 1 ha) sind mindestens 4 Probenahmestellen erforderlich.

Prinzipiell ist darauf hinzuweisen, daß jedes schematisierte oder nicht schematisierte Beprobungsraster nur stichprobenartige Kenntnisse über den Aufbau des Untergrunds und über potentielle Kontaminationen liefern kann. Dabei werden mögliche Kontaminationen zwischen den Aufschlußpunkten nicht festgestellt.

Erwähnt werden müssen jedoch die geostatistischen Verfahren zur Optimierung eines Meßnetzes. Prinzipiell erfolgt dabei eine statistische Fehlerabschätzung der räumlichen Übertragung von punktbezogenen Daten, also eine Quantifizierung der Zuverlässigkeit dieses Vorgangs mit dem Ziel

- die Minimierung der Anzahl von Meßstellen durch optimale räumliche Anordnung bei vorgegebener Mindestaussagesicherheit und
- die Maximierung der Aussagesicherheit von Erkundungsergebnissen durch optimale räumliche Anordnung von Meßstellen

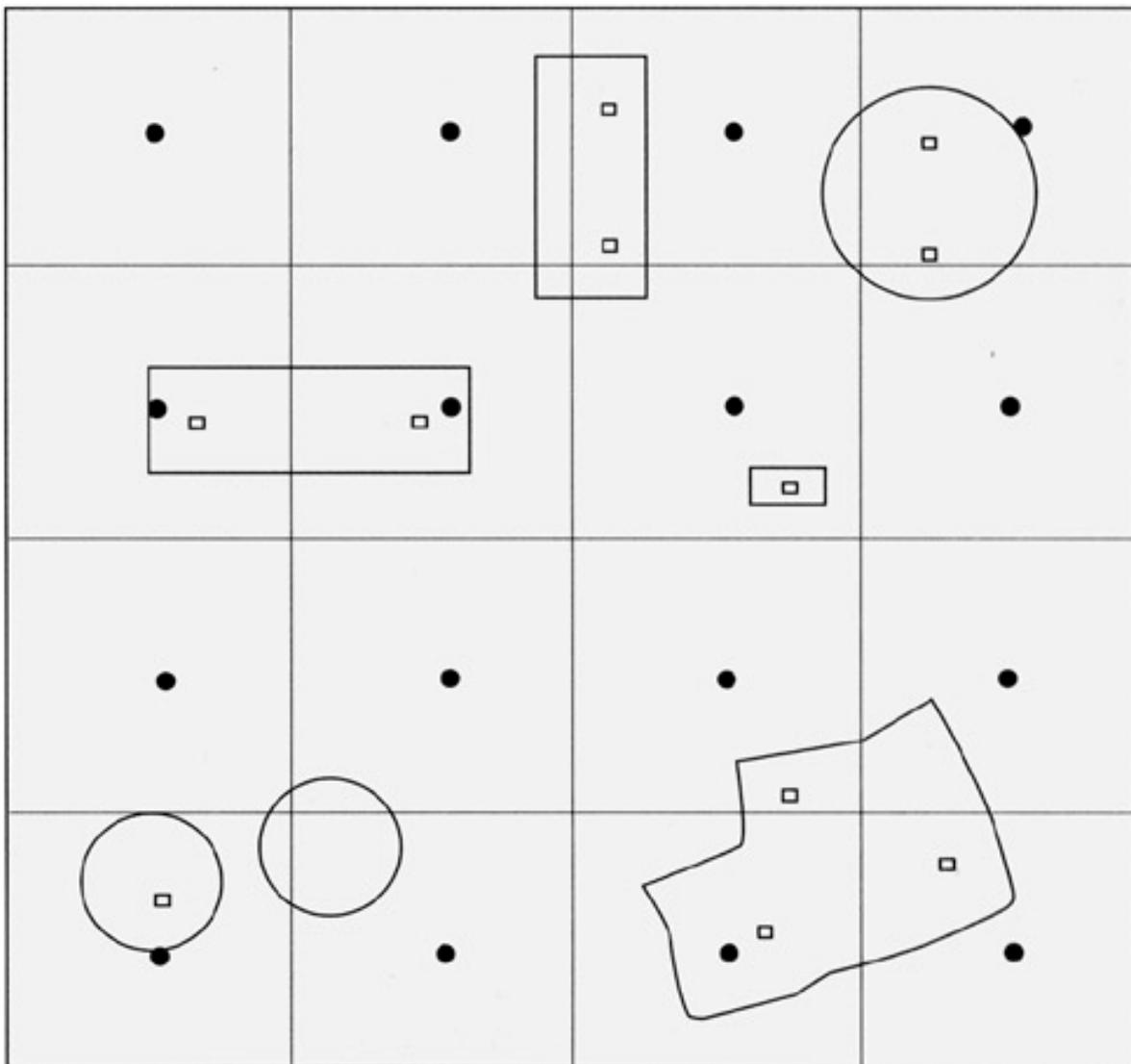
zu erreichen.

Diesbezüglich sei auf die Veröffentlichungen von Tietze (1995) und Linnenberg (1995) verwiesen.

Grundsätzlich kommen je nach Informationsstand und vermuteter Schadstoffverteilung Probenpunktanordnungen nach Abbildung 1 in Betracht (wirkungspfad- und schutzgutbezogene Beprobungsraster siehe Kapitel 2.1.4):

Die Abstände für die Entnahmepunkte hängen vom

gewünschten Erkenntnisgewinn (Orientierende Erkundung bzw. Detailerkundung) ab. Auf das Verhältnismäßigkeitsprinzip ist stets zu achten.



**Abb. 1: Quadratisches, regelmäßiges Gitter mit Verdichtung bei ehemaligen Anlagenkomponenten, nach LEUCHS (1991)**

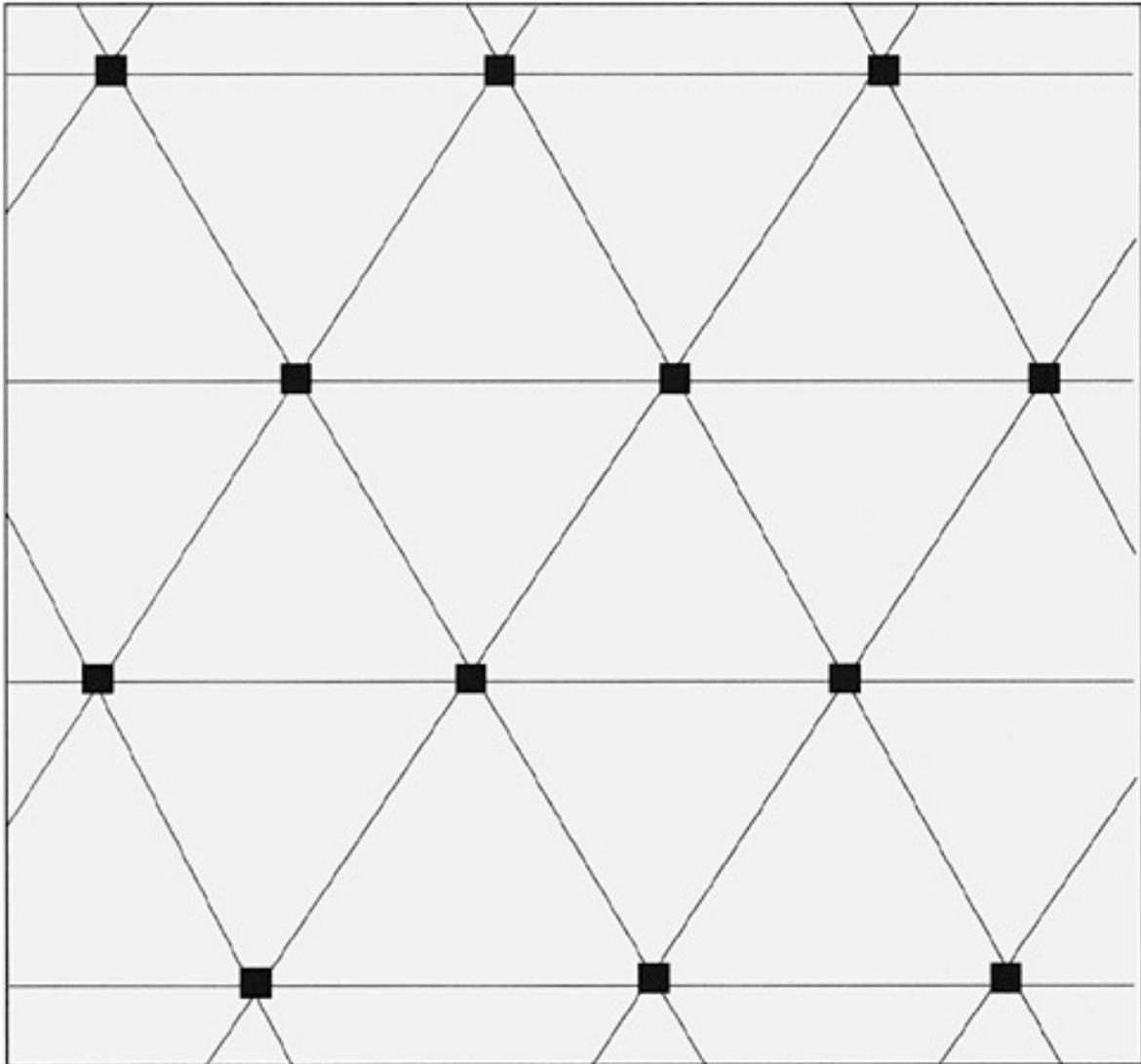
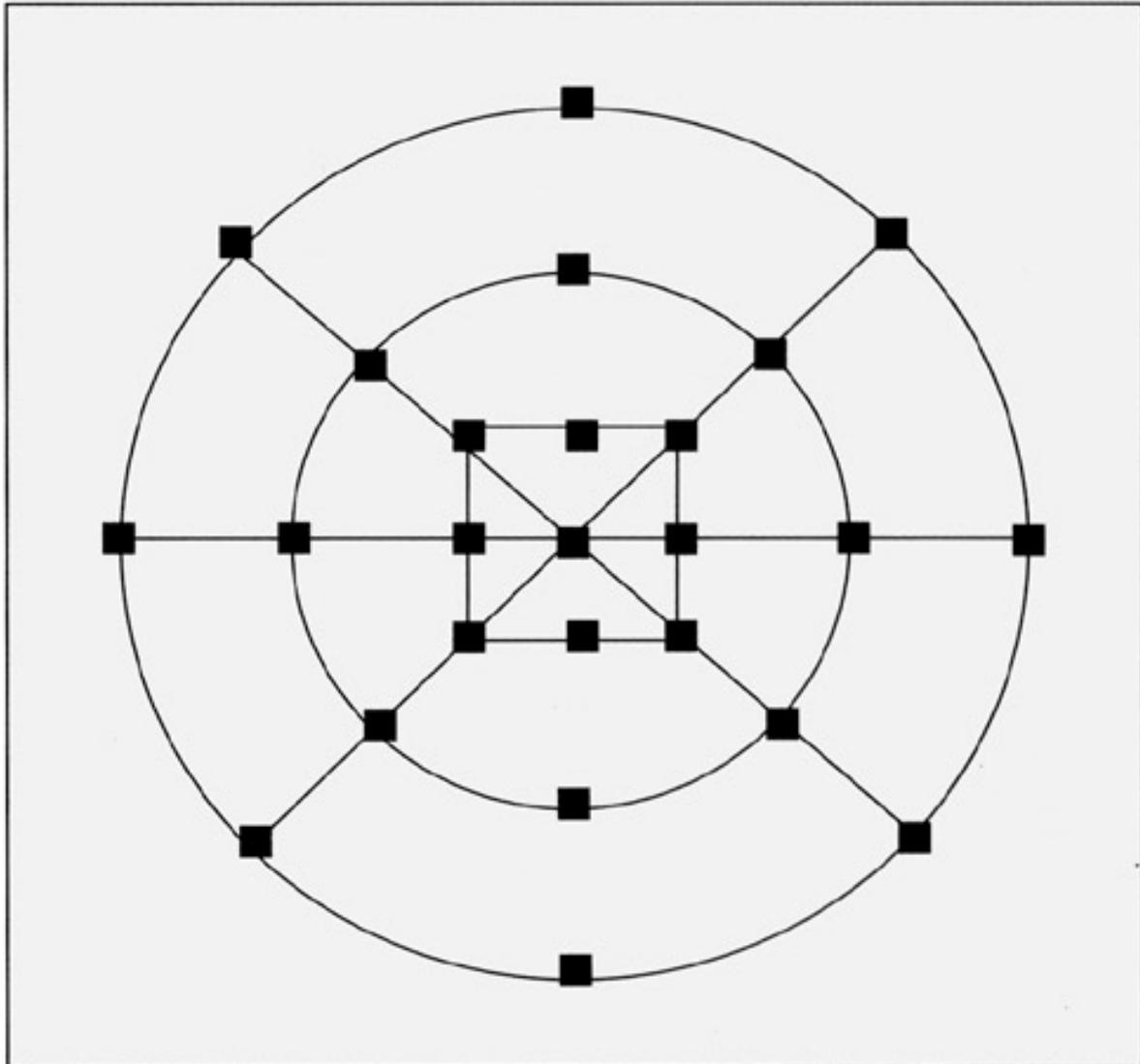


Abb. 2: Regelmäßiges Gitter aus gleichseitigen Dreiecken



**Abb. 3: Polares Raster um ein Kontaminationszentrum nach LEUCHS (1991)**

### **2.1.2.2 Probepunktanordnungen bei (teilweise) bekannten Kontaminationszentren und linienförmigen Schadstoffverteilungen**

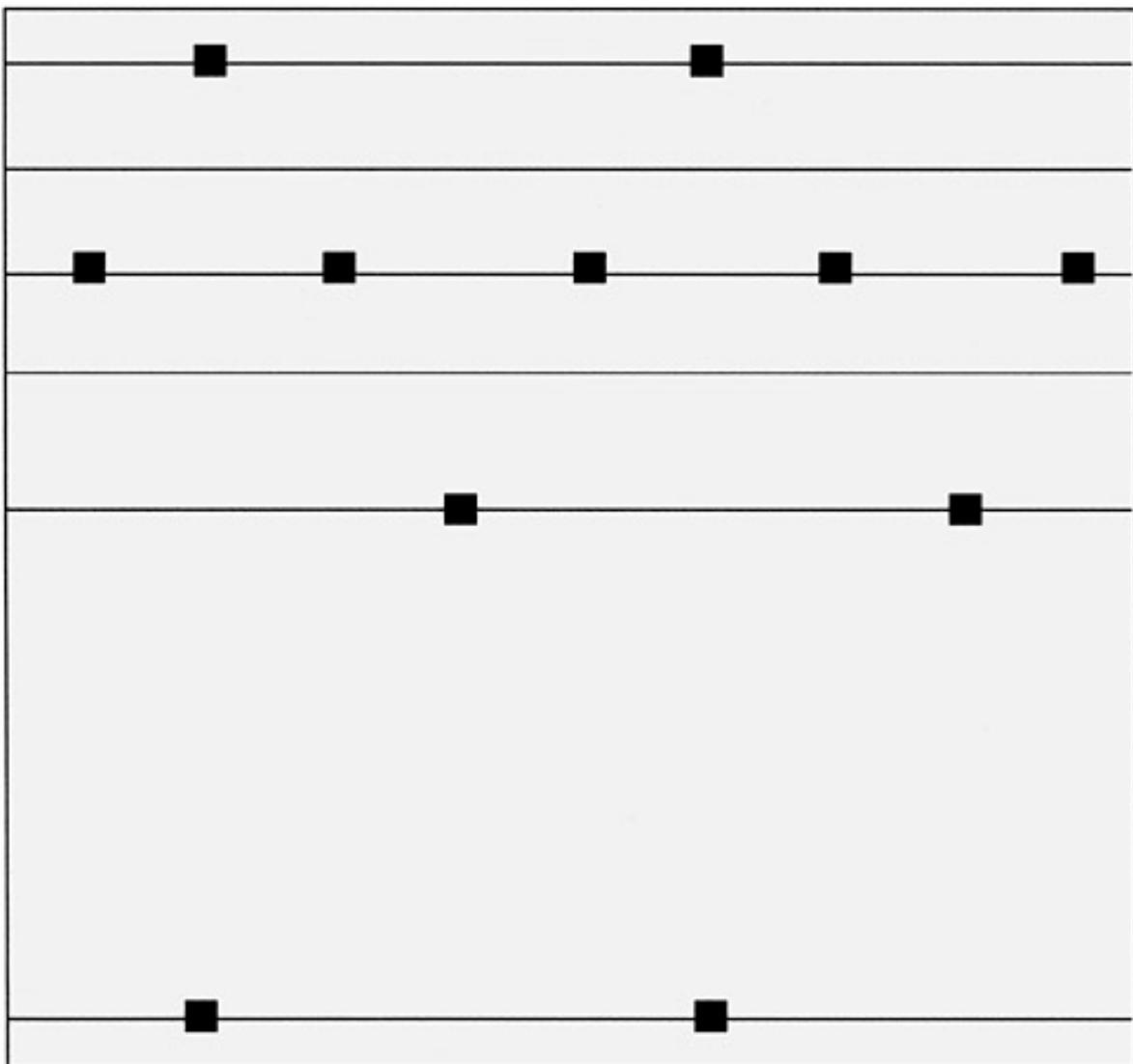
Die Anordnung der Entnahmepunkte erfolgt entlang von Profillinien, die radialstrahlig auf konzentrischen Kreisen um das Kontaminationszentrum angeordnet sind. Die Entnahmepunkte werden an den Schnittpunkten der Kreise mit den 8 Haupthimmelsrichtungen (N, NO, O, SO, S, SW, W, NW) festgelegt. Die Genauigkeit der Methode kann noch erhöht werden, wenn die Entnahmepunkte nicht strahlenförmig auf den Haupthimmelsrichtungen liegen, sondern von Ring zu Ring um  $22,5^\circ$  versetzt werden.

Diese Methode wird angewandt, wenn aufgrund der historischen Recherche die potentiellen Kontaminationsherde bekannt sind. Bestehen hinsichtlich der genauen Lage der Kontaminationsherde jedoch noch Unsicherheiten, so sollte diese Methode mit einem regelmäßigen Raster verknüpft werden, um die Wahrscheinlichkeit zur Erfassung sämtlicher Schadstoffherde zu erhöhen.

Einschränkung und Modifizierung der Methode:

- Sollen aus Probenahmepunkten, die im polaren Raster angeordnet sind, Mischproben zur Bestimmung der durchschnittlichen Schadstoffbelastung hergestellt werden, so sind die Mengenanteile aus den Einzelproben mit den Flächenanteilen zu wichten.
- Liegen bevorzugte Ausbreitungsrichtungen vor oder sollen die Ränder einer Kontamination bestimmt werden, so ist es zweckmäßig, im Zentrum weniger Proben zu entnehmen und dafür die dort eingesparten Entnahmepunkte an geeigneten Stellen auf den Außenkreisen dichter zu setzen.

Im Falle linienhafter Verunreinigungen (z. B. Leckagen an Pipelines) sollten die Entnahmebereiche auf oder in der Nähe der vermuteten Verunreinigungen positioniert werden (Arbeitsschutz beachten!). Zur Bestimmung der flächenhaften Ausdehnung der Kontamination werden weitere Entnahmepunkte auf parallelen Linien zur Schadensquelle angeordnet ( s. Abbildung 4).



**Abb. 4: Anordnung der Entnahmestellen bei linienhaften Kontaminationen**

### **2.1.3 Festlegung der Probenahmestellen in vertikaler Richtung**

Zur Ermittlung des Schadstoffinventars im Untersuchungsraum und des darunter vorhandenen geologischen Profils ist grundsätzlich der gesamte Boden bis zum Grundwasserstauer, mindestens jedoch bis 1 m in den organoleptisch unauffälligen Bereich, zu beproben. Dabei ist unbedingt zu verhindern, daß wasserstauende Schichten im Liegenden durchbohrt werden und eine Kontamination des Grundwassers über einen hydraulischen Kurzschluß erfolgt. Durchbohrte Trennschichten sind wieder herzustellen.

Aus Bohrungen ist zur Sicherheit der Repräsentativität der Untersuchungsergebnisse bei jedem Wechsel der Horizonte (Wechsel in Zusammensetzung, Zustand oder Farbe), mindestens aber für jeden Bohrmeter, wenigstens eine Probe zu entnehmen. Im allgemeinen sollte man die Bohrkerne möglichst dicht beproben – z. B. alle 50 cm –, da die zusätzlichen Probenahmekosten im Vergleich zu den Bohrkosten kaum ins Gewicht fallen, während ein Nachbeprobieren einen erheblichen Kostenfaktor darstellen kann. Bei tieferen Bohrungen (ab ca. 15 m) vergrößern sich die Beprobungsabstände in der Regel: auf 2 m bei Bohrungen bis ca. 50 m Tiefe und auf 3 m bei Bohrungen >50 m bzw. jeweils bei einem Wechseln der Schichtfolge.

Neben dem Transportpfad Boden-Grundwasser sind in Abhängigkeit von der Nutzung in der Regel weitere Pfade hinsichtlich der von ihnen ausgehenden Gefährdung für Schutzgüter zu betrachten.

Die dafür relevanten Beprobungstiefen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

**Tabelle 1: Beprobungstiefen für unterschiedliche Transportpfade**

Transportpfad	Beprobungstiefe
Boden-Grundwasser	0 – Grundwasserstauer, mindestens aber 1 m unterhalb des belasteten Bereichs (Probenahme je Materialwechsel, mindestens je Bohrmeter)
Boden-Luft (Verwehung)	0-10 cm
Boden-Oberflächenwasser (Abschwemmung)	0-10 cm
Boden-Mensch (orale Aufnahme)	0-35 cm
Boden-Pflanze	0 – unter Hauptwurzelzone (bei Bedarf zusätzlich zweigeteilt bis 100 cm)
Eine weitere Differenzierung innerhalb dieser Beprobungsintervalle ist abhängig vom jeweiligen Schichtenaufbau.	

## 2.1.4 Spezielle Probenahmestrategien bei definierter Bodennutzung

### 2.1.4.1 Kinderspielplätze

Im Normalfall wird der Oberboden bis 35 cm horizontweise durch Erstellen einer Mischprobe aus 10-15 Einstichen (z. B. Pürckhauer-Bohrstock, NMin-Bohrer) pro zuvor definierter Teilfläche beprobt.

Als Teilflächen auf Kinderspielplätzen können u. a. folgende Bereiche vorkommen:

- Sandkasten
- Gerätespielflächen
- Rabatten
- Trittrassen
- wassergebundene Wege- und Platzflächen
- versiegelte Flächen.

Spielsande und -kiese werden nur beprobt, wenn eine unterlassene regelmäßige Erneuerung erkennbar ist bzw. Verunreinigungen oder Humifizierungen offensichtlich sind. Im allgemeinen sind hierbei mikrobiologische Verunreinigungen von vorrangiger Bedeutung.

Bei Materialwechsel innerhalb einer Teilfläche einheitlicher Nutzung erfolgt eine weitere Unterteilung durch getrennte Erstellung von Mischproben. Abweichend davon werden die Deck- und Tragschicht wassergebundener Wege- und Platzflächen oder die Sperrschicht von Sandflächen mittels Schaufel oder Spaten aus Kleinschürfen beprobt.

Um die vertikale Ausdehnung oberflächennaher Bodenkontaminationen zu erfassen, sollte im Hinblick auf spätere Sanierungsmöglichkeiten der Unterboden der Gesamtfläche durch eine sich an der Heterogenität der Bodenprofile orientierende repräsentative Anzahl von Kleinbohrungen bis in **1 m Tiefe** horizontweise beprobt werden.

Für die obersten 35 cm werden folgende Tiefenschichten empfohlen:

- ohne Vegetation: 0-2 cm, 2-10 cm und 10-35 cm
- mit Vegetation: 0-5 cm, 5-10 cm und 10-35 cm.

Die Dokumentation der Teilflächen-Differenzierung und -Beprobung in Lageplänen, Bodenprofilen und Probenahmeprotokollen mit detaillierter Bodenansprache ist obligatorisch.

#### **2.1.4.2 Sport-/Bolzplätze**

Für alle Gefährdungen muß man dem oberflächennahen Teil des Belages (Tennenbelag bzw. Deckschicht) die größte Beachtung schenken.

Generell sollten Tennenbelag bzw. Deckschicht und ihr unmittelbares Unterlager getrennt beprobt werden. Schon vor Ort erkennbare Materialunterschiede innerhalb der Deckschicht (Farbe, Körnung, Komponentenbestand) erfordern eine getrennte Entnahme der identifizierten Teilschichten.

Neben den vertikalen Profildifferenzierungen sollen Teilflächen verschiedener Nutzung einer Sportanlage (Spielfelder, Laufbahnen, Sektoren) getrennt beprobt werden. Um zu gewährleisten, daß die entnommenen Proben die Materialbeschaffenheit auf den Untersuchungsflächen repräsentieren, sollen Mischproben organoleptisch gleicher Materialien entnommen werden. Jede Mischprobe sollte aus ca. 5-10 Einzelproben bestehen. Die Entnahme der Einzelproben sollte mit Kellen oder Schaufeln aus Kleinschürfen erfolgen. Rillen- bzw. Rohrbohrer sind hierfür eher ungeeignet. Die Vorgehensweise ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

#### **2.1.4.3 Haus-/Kleingärten, Wohngebiete**

Die Probenahmetiefe orientiert sich an der Buddeltiefe spielender Kinder von maximal 35 cm (= Spatentiefe), wobei eine differenzierte horizontweise Beprobung angezeigt ist (insbesondere im Rahmen der Detailuntersuchung). Hinsichtlich oraler und/oder inhalativer Aufnahme sollte in der Detailphase bei Wohnflächen und Haus-/Kleingärten in Abhängigkeit von Vegetation die Probenahme in folgenden Tiefen erfolgen:

- ohne Vegetation: 0-2 cm, 2-10 cm und 10-35 cm

- mit Vegetation: 0-5 cm, 5-10 cm und 10-35 cm.

Dabei sollte jedoch nicht über Horizontgrenzen beprobt werden.

Zur Bewertung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze ist im allgemeinen eine Beprobung bis in Spatentiefe ausreichend. Im Einzelfall kann eine maximale Beprobungstiefe entsprechend der Durchwurzelungstiefe von etwa 1 m erforderlich sein. Es ist dann horizontweise der Oberboden (im allgemeinen Spatentiefe) und der Unterboden zweigeteilt (35-60 cm, 60-100 cm) zu beproben.

Soll ein Haus-/Kleingarten beprobt werden, so sind die Proben durch 10 oder mehr kreisförmig angeordnete Einstiche mit dem Bohrstock (z. B. Pürckhauer) um einen Rasterpunkt zu entnehmen und zu einer Mischprobe zu vereinigen (NRW, 1988); im Hinblick auf eine wirkungspfadbezogene Bewertung der Meßergebnisse sollten jedoch nur Mischproben von Flächen einheitlicher Vegetationsbedeckung und Nutzung erstellt werden.

#### **2.1.4.4 Landwirtschaftlich genutzte Böden**

Bei der Bewertung von Schadstoffgehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden stehen der Transportpfad Boden-Pflanze-Mensch und die Einhaltung der Lebensmittelrichtwerte im Vordergrund. Bei einheitlicher Bewirtschaftung, Bodenbeschaffenheit und Nutzung sind nach dem Entwurf der ISO/CD 10384-4 (Dezember 1992) dementsprechend folgende Probenzahlen pro Flächeneinheit (Angaben in ha) ausreichend:

Flächeneinheit	Anzahl der Mischproben
<2 ha	1 Mischprobe
2-5 ha	2 Mischproben
5-10 ha	3 Mischproben
10-20 ha	5 Mischproben
>20 ha	$[2+(n*ha)^{1/2}]$ Mischproben

**Tabelle 2: Übersichtstabelle zu Beprobungsumfang und Probenahmetechnik auf wassergebundenen Sportplätzen**

Art der Flächen	Spielfelder, Laufbahnen, Sektoren, Tennisfelder	Bolzplätze
Art der zu beprobenden Schichten	Tennenbelag dynamische Schicht	Deckschicht Tragschicht
Art der Probe	Mischprobe	
Anzahl der Proben	1. Vertikale Differenzierung mindestens eine Probe je Material, das aufgrund seiner äußeren Beschaffenheit (Farbe, Körnung, Komponentenbestand) von anderen unterschieden werden kann (z. B. auch zwei Deckschichten unterschiedlichen Aufbringungsalters)  2. Horizontale Differenzierung getrennte Beprobung der Flächen unterschiedlicher Nutzung einer Sportanlage (Spielfeld, Laufbahn, Sektoren usw.)	
Anzahl der Einzelproben je Mischung	je 1 Mischprobe aus 5-10 Kleinschürfen je Teilfläche	
Entnahmemenge je Mischprobe	>1000 g	
Entnahmetiefe	Die Beprobung muß neben den Oberflächenschichten auch den oberen Bereich der dynamischen Schicht bzw. Tragschicht (bei Bolzplätzen) erfassen und mindestens 10 cm tief reichen; zusätzliche Beachtung der Vorgaben zur Anzahl von Mischproben.	
Entnahmegerate	Spaten und/oder Kelle	

Eine Mischprobe von ca. 1000 g wird dabei aus 15-25 Einzeleinstichen gewonnen, die nicht parallel der Pflugrichtung angeordnet sein sollten.

Für Ackerland ist die Bearbeitungs-(Pflug-)tiefe bis ca. 30-40 cm, bei Grünland die Bodenoberfläche (nach Abzug der Grassoden) bis ca. 10 cm zu beproben. Dementsprechend können, neben den üblicherweise verwendeten Entnahmegerate auf Ackerböden (Bohrstock, Rammgestänge mit Entnahmerohr), für Grünland Stechzylinder oder Stechrahmen verwendet werden. Bei unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit und Nutzung einer Untersuchungsfläche ist die Anzahl der Einstiche (Einzelproben) und Proben (Mischproben) dem Einzelfall anzupassen.

## 2.2 Aufschlußverfahren zur Probengewinnung

### 2.2.1 Allgemeines

Erfolgt die Probeentnahme nicht an der Bodenoberfläche, ist die Schaffung geeigneter Aufschlüsse im Untergrund notwendig. Je nach den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten, der Art und Verteilung der Schadstoffe sowie den Anforderungen an die Güte des Probenmaterials und die Probenmenge (s. Tabellen 3 und 4) bieten sich unterschiedliche Bohrverfahren oder das Anlegen von Schürfen an. Dabei sind Bohraufschlüsse immer dann erforderlich, wenn infolge von Grundwasserandrang und anderen Schwierigkeiten auf Schürfe verzichtet werden muß. In Tabelle 5 wird eine Übersicht über die im folgenden beschriebenen Aufschlußverfahren bei der Altlastenerkundung gegeben. Eine Zusammenstellung der relevanten DIN-Vorschriften zur Entnahme von Bodenproben enthält Anlage 1.

Grundsätzlich soll das Probematerial bei der Probeentnahme in seiner chemischen, physikalischen und biologischen Beschaffenheit so wenig wie möglich gestört werden. Unzulässig sind wegen der dadurch eventuell ausgelösten chemischen Veränderungen bzw. Konzentrationsminderungen von Schadstoffen:

- Verwendung von Bohrspülungen (unvermeidbare Ausnahmen sind sorgfältig zu prüfen),
- vermeidbare Erwärmung des Bohrgutes, vor allem bei Verdacht auf leicht flüchtige oder organische Schadstoffe,
- vermeidbare Fraktionierung der Probe (betrifft vor allem Greiferbohrungen).

Durch geeignete Probenahmegerätschaften und die Reinigung der Probenahmewerkzeuge vor jeder Probeentnahme müssen entnahmebedingte Kontaminationen von Proben sicher ausgeschlossen werden können. Die Verwendung von Lösungsmitteln ist zu vermeiden bzw. zu dokumentieren und mit den zuständigen Fachbehörden abzustimmen. Der Reinigungserfolg ist von Fall zu Fall zu überprüfen.

Der Bohrdurchmesser muß vom im Untergrund vorkommenden Größtkorn abhängig gemacht werden (s. Tabelle 4). Unterschreitungen des Mindestbohrdurchmessers führen in der Regel zu Qualitätsminderungen bei der Probenahme. Ungeeignet sind Bohrungen mit einem Durchmesser von lediglich dem Doppelten des Größtkorns.

**Tabelle 3: Güteklassen für Bodenproben nach DIN 4021 (Oktober 1990)**

Güteklasse	Bodenproben unverändert in
1	Korngefüge, Schichtenfolge, Kornzusammensetzung, Wassergehalt, Dichte des feuchten Bodens, Wasserdurchlässigkeit, Steifemodul, Scherfestigkeit
2	Schichtenfolge, Kornzusammensetzung, Wassergehalt, Dichte des feuchten Bodens, Wasserdurchlässigkeit
3	Schichtenfolge, Kornzusammensetzung, Wassergehalt
4	Schichtenfolge, Kornzusammensetzung
5	Schichtenfolge (unvollständige Bodenprobe)

**Tabelle 4: Erforderlicher Außendurchmesser in Abhängigkeit von Größtkorn nach DIN 4021 und erforderlicher Probelänge je kg Probe (nach INGENIEURTECHNISCHER VERBAND ALTLASTEN, 1994)**

Außendurchmesser in mm	Innendurchmesser in mm	Größtkorn in mm	Probelänge in mm je kg (ca.)
200	180	60	50
100	90	30	100
80	70	14	130
60	50	10	260
50	40	8	400

## **2.2.2 Bohrungen**

Für Bohrungen besteht eine Bohr-Anzeigepflicht und Bohrerergebnisse-Mitteilungspflicht (s. Anlage 2).

### **2.2.2.1 Handbohrungen (nach DIN 19671, Teil 1)**

Handdrehbohrungen mit einer beidseitig offenen Bohrkammer werden zur Gewinnung gestörter Mischproben bis ca. 2 m Tiefe eingesetzt. Ebenso tief können Bohrstöcke (gebräuchlich sind auch die Bezeichnungen Rillenbohrer, Sondierbohrer, Peilstangengerät oder Bohrstock nach Pürckhauer) mit Hilfe eines Hammers von Hand eingeschlagen werden. Diese Aufschlußmethoden sind wegen ihrer leichten Handhabung einfach und schnell einsetzbar, aber in ihrer Aussagekraft wegen der eingeschränkten Güte (Güteklasse 5 oder schlechter) der Aufschlüsse, z. B. in Hinblick auf die Schichtenfolge, begrenzt. Handdrehbohrungen und Bohrstockbohrung finden allenfalls Anwendung bei der Voruntersuchung der obersten Bohrschichten von Altlastenverdachtsflächen zur Orientierenden Erkundung der Belastungssituation.

### **2.2.2.2 Kleinrammbohrungen (nach DIN 4021)**

Bei den bei Altlastenuntersuchungen weit verbreiteten Kleinrammbohrungen (Außendurchmesser 35 bis 80 mm) wird das Kernrohr oder Schlitzgestänge ebenso wie bei Kleindruckbohrungen ohne Drehbewegung in den Untergrund getrieben. Zum Einsatz kommen tragbare benzin- oder strombetriebene Bohrhämmer oder an Fahrzeuge montierte hydraulische Bohrgeräte. Das Kernrohr sollte wegen

**Tabelle 5: Übersicht über Aufschlußverfahren bei der Altlastenerkundung (nach INGENIEURTECHNISCHER VERBAND ALTLASTEN, 1994)**

Verfahren	Durchmesser in mm		Güteklasse	Vorteile	Nachteile	Fehlerquellen Chemie	Erkundungsphase
Handbohrung	15-80	D/5	5 oder schlechter	sehr schnell und kostengünstig	nicht immer repräsentativ, nur bis max. 2 m	i. d. Regel ungeeignet	Orientierung
Kleinrammbohrung	35-80	D/5	bis 2 in bindigem, bis 3 in rolligem Boden	kostengünstig, schnell, in Kellern, Häusern etc.	Kernverluste Stauchungen Nachfall Ausgasung	Ungenauigkeit im Profil, Randkontamination, Verluste flüchtiger Schadstoffe	Orientierung, Abgrenzung
Rammkernbohrung	80-300	D/3	2 in bindigen, 3-2 in rolligen Böden	gute Kerne, auch unter Grundwasser einsetzbar	Erwärmung in festen Böden, Vermischung beim Auspressen in nicht bindigen Böden	Verluste flüchtiger Schadstoffe, Verschleppung von Schadstoffen	Orientierung, Abgrenzung, Detail, Sanierung
Rotationskernbohrung	65-200	D/3	4 bis über Gw 5 unter Gw	kostengünstig, große Probenmengen	Störung der Proben, Entmischung rolliger Böden, ungenaue Profile, Erwärmung in festen Böden	Vermischung von Probenmaterial, Verlust von Feinkorn unter Gw-Oberfläche, Verlust leichtflüchtiger Schadstoffe	Abgrenzung, Sanierung
Greiferbohrung	400-2500	D/2	3 über Gw 5 bis 4 unter Gw	große Durchmesser, große Probenmengen, auch größtes Material	ungenau Profile, Störung der Proben, Entmischung unter Gw, Entsorgung	Vermischung von Probengut, Verlust von Feinkorn unter Gw-Oberfläche	Detail (Sanierung)
Schlauchkernbohrung	80-200	D/3	2 bis 1	exakte Profile, kein Luft- und Wasserzutritt zum Probenmaterial, Schutz vor Entgasung	aufwendiges Verfahren, anfällig gegen Störkörper	Wechselwirkungen mit Schlauchmaterial	Detail, Sanierung
Schurf (begehbar)	beliebig	-	2 bis 1	exakte Profile, Lagerung erkennbar, jede Probenmenge und -güte	Arbeitsschutz, Verbau, Entsorgung, Platzbedarf	Luftzutritt, Ausgasung Abgrenzung,	Detail, Sanierung
Sonderprobe (ungestörte Probenentnahme)	50-200	D/3	1	hydraulische und bodenmechanische Parameter	aufwendiges Verfahren	-	Detail, Sanierungsplanung

der Stauchung des Bohrkerns nicht länger als 1 m sein. Die durch Randeefekte gestörten, mit dem Bohrgestänge in Kontakt stehenden Ränder des Bohrkerns als auch der häufig durch Nachfall verfälschte obere Teil des Bohrkerns müssen bei der Probenahme verworfen werden.

Weiterhin treten in nichtbindigen Böden vor allem unterhalb der Grundwasseroberfläche häufig erhebliche Kernverluste auf, was die Einsetzbarkeit des Aufschlußverfahrens einschränkt. Die Störeinflüsse an den Bohrkernrändern sowie Stauchungen des Bohrkerns sind bei einem Außendurchmesser des Bohrgestänges kleiner als 50 mm in der Regel nicht vertretbar. Zur Gewinnung möglichst repräsentativer Untersuchungsergebnisse sowie einer möglichst detailgetreuen Aufnahme des Untergrundprofils ist in der Regel ein Bohrdurchmesser von 80 mm bei einem Innendurchmesser von 70 mm und einem Kernrohr von 1 m Länge (Güteklasse 3 bis 2 in bindigen, 4 bis 3 in rolligen Böden) zu empfehlen. Für die im allgemeinen erforderliche Probemenge von 1 kg ist eine Probelänge von ca. 130 mm erforderlich (s. Tabelle 4).

In begründeten Einzelfällen, z. B. im Rahmen der Voruntersuchungen, kann bei Kleinrammbohrungen ein Bohrdurchmesser von 50 mm ausreichend sein.

### **2.2.2.3 Rammkernbohrungen (nach DIN 4021)**

Mit Rammkernbohrungen können Bohrtiefen bis über 50 m erreicht werden. Ihr Einsatz erfolgt meist im Rahmen der Detailuntersuchung, wenn sich aufgrund der Vorerkundungen eine Untergrundkontamination bereits abgezeichnet hat, oder wenn das Grundwasser aufgeschlossen werden muß. Die Bohrdurchmesser liegen über 80 mm bis 300 mm und erlauben eine detaillierte Aufnahme des Untergrundprofils sowie eine repräsentative und tiefenorientierte Beprobung unterschiedlicher Bodenschichten. Der Ausbau des Bohrlochs zur Grundwassermeßstelle ist ab einem lichten Ausbaudurchmesser von 125 mm möglich (s. Richtlinien des DVWK-Merkblatts W 121 oder Empfehlungen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft). Die hohe Probengüte in bindigen Böden (Güteklasse 2 bis 1) geht in rolligen Böden vor allem unterhalb der Grundwasseroberfläche verloren (Güteklasse 3 bis 2).

Für grobkörnige rollige Böden ist das Rammkernbohrverfahren nicht geeignet. Der Durchmesser des Bohrkerns soll mindestens den dreifachen Durchmesser des Größtkorns aufweisen.

Rammkernbohrungen mit Spülung sind für die Probenahme ungeeignet. Eine Anwendung von Naßverfahren ist daher – sollte sie aus bestimmten Gründen unvermeidbar sein – genau zu begründen und mit den zuständigen Behörden abzustimmen. Zur Quantifizierung der wasserlöslichen Schadstoffe sollte das Spülwasser beprobt und analysiert werden.

### **2.2.2.4 Rotationsbohrungen (nach DIN 4021)**

Grundsätzlich können nur Rotations-Trockenkernbohrungen ohne Spülung verwendet werden. Sie werden mit Hilfe von Einfachkernrohren oder Hohlbohrschnecken ausgeführt und sind vor allem im bindigen Lockergestein einsetzbar. Die üblichen Außendurchmesser betragen 65 bis 200 mm bzw. 65 bis 300 mm, die Bohrtiefen reichen bis 30 m. Die Qualität der Proben unterhalb der Grundwasseroberfläche ist gering (Güteklasse 5), oberhalb des Grundwasserspiegels wird die Güteklasse 4 bis 3 erreicht. Zur Probenahme sollten vor allem die weitgehend unbeeinflussten Bereiche im Kern der Spiralfüllung bzw. des Kernrohres benutzt werden.

### **2.2.2.5 Schlauchkernbohrungen**

Bei Schlauchkernbohrungen erfolgt die Kernaufnahme schon beim Bohren mit Hilfe eines Kunststoffschlauchs oder einer Kunststoffhülse (Liner). Dadurch können Kontaminationen im Randbereich des Kerns, Sauerstoffzutritt und Verluste von flüchtigen Stoffen weitgehend vermieden werden. Das Verfahren erlaubt außerdem die Entnahme von fließenden Böden und Sedimentproben aus Gewässern.

Die Qualität der Proben ist sehr gut (Güteklasse 2 bis 1). Als Bohrverfahren kommen Rammkern- oder Schneckenbohrverfahren mit verschiedenen Durchmessern zum Einsatz. Störkörper oder grobes Material im Untergrund können den Schlauch beschädigen oder seine Füllung verhindern.

Da Schlauchkernbohrungen wesentlich aufwendiger als die zuvor genannten Aufschlußverfahren sind, sollte ihr Einsatz vor allem in Zusammenhang mit speziellen Fragestellungen erfolgen. Dabei ist zu beachten, daß das Schlauch- bzw. Linermaterial und die weitere Lagerung und Aufarbeitung der Bohrkerne den jeweils zu erwartenden Schadstoffen angepaßt werden.

#### **2.2.2.6 Greiferbohrungen**

Greiferbohrungen kommen vor allem in lockeren, rolligen Böden und bei großen Bohrdurchmessern ab 400 mm bis 2500 mm zum Einsatz. Über dem Grundwasserspiegel wird die Güte der Proben mit 3 bewertet. Unter dem Grundwasserspiegel wird beim Heben des Greifers häufig Feinkorn aus der Probe ausgewaschen (Güteklasse 5 bis 4 bzw. ungeeignet).

Greiferbohrungen sind für die Probenahme zur chemischen Untersuchung nur sehr eingeschränkt nutzbar und sollten nur eingesetzt werden, wenn große Probenmengen erforderlich sind und wenn das Bohrgerät nachweislich schmierstofffrei ist.

#### **2.2.3 Schürfe (nach DIN 4021)**

Die einfachste Methode zur Entnahme von oberflächennahen Proben in bindigen und nichtbindigen Böden ist die Anlage eines wenige cm bis dm tiefen Kleinschurfes mit Kelle, Schaufel oder Spaten.

Die Anlage von Schürfen ist in standfesten Böden oberhalb des Grundwasserspiegels bis in Tiefen von 5 bis 6 m eine weit verbreitete und kostengünstige Aufschlußmethode. Voraussetzung für die Durchführung sind eine sorgfältige Spartenklärung (Verlauf von Versorgungsleitungen) sowie die Kenntnis und Beachtung der einschlägigen Sicherheitsvorschriften (z. B. DIN 4124 und DIN 18303). Arbeitsschutzmaßnahmen und die Entsorgung von kontaminiertem Probenmaterial sind hier von besonderer Bedeutung. Aus

einem begehbaren Schurf sind beliebige Probenmengen und Qualitäten gewinnbar. Nicht begehbare Schürfe liefern nicht horizontierte Proben und können nur für eine erste Orientierende Erkundung herangezogen werden. Durch den großen Kontaktbereich der Aufschlußwand zur Umgebungsluft werden Oxidationsprozesse begünstigt und flüchtige Komponenten können entweichen. Die Beprobung ist unmittelbar nach der Erstellung des Schurfs vorzunehmen und der Oberflächenbereich der Schurfwandungen zu verwerfen.

#### **2.2.4 Sonderproben**

(Ungestörte Proben, nach DIN 19672, Teil 1)

Werden die hydraulischen und bodenmechanischen Parameter wie z. B. Wasser-, Luftdurchlässigkeit, Lagerungsdichte oder Kompressibilität benötigt, ist in der Regel die Entnahme von Sonderproben (Güteklasse 1) erforderlich. Dazu werden – wenn möglich – mehrere Einzelproben pro

Horizont mit Hilfe von Stechzylindern aus einem Schurf oder Bohrloch entnommen. Die DIN 4021 sieht Entnahmegерäte mit 50 bis 114 mm Innendurchmesser vor. Stechzylinder mit einem Volumen von ca. 100 cm<sup>3</sup> (Höhe 5 cm) sind bei bodenkundlichen Untersuchungen weit verbreitet. Die Methode ist in steinreichen und rolligen Böden nur eingeschränkt einsetzbar.

## **2.3 Probenahme**

### **2.3.1 Optimierte Probenahme**

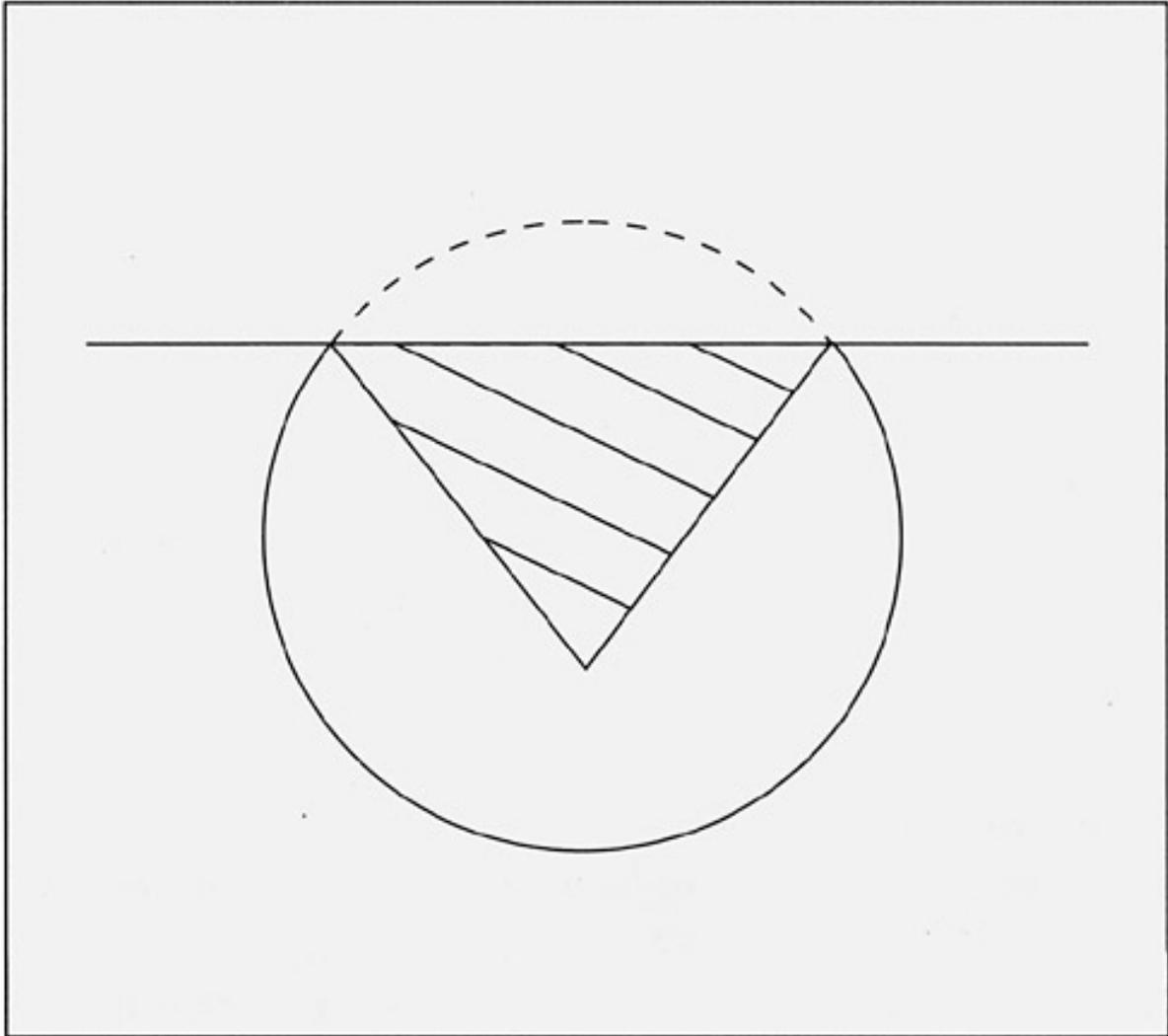
Die Zusammensetzung einer Boden- oder Abfallprobe kann sich durch den Entnahmevorgang aus verschiedensten Gründen ändern:

- Abrieb von Probenahmegeräten und -werkzeugen
- Schadstoffverschleppungen durch nicht gereinigte Gerätschaften
- Verflüchtigung von Schadstoffen bei zu langer offener Zwischenlagerung
- Verunreinigung durch Einfluß von Benzindämpfen oder Abgasen der motorbetriebenen Probenahmegeräte/ Fahrzeuge
- Oxidationsprozesse beim Luftzutritt
- Photolytische Zersetzung bestimmter Schadstoffe durch Tages-/Sonnenlicht
- Veränderung durch mikrobiologische Aktivität.

Aus diesen Gründen kommt auch der optimierten Probeentnahme eine hohe Bedeutung im Hinblick auf den Erhalt von reproduzierbaren Meßergebnissen zu. Im folgenden werden deshalb die zu beachtenden Maßnahmen erläutert, deren Einhaltung für die Gewinnung qualitativ hochstehender Bodenproben unabdingbar sind.

Eine hohe Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse wird maßgeblich durch die Vorgehensweise bei der Entnahme aus dem Probegewinnungsgerät bestimmt. In jedem Fall müssen die Proben zur Vermeidung von entnahmebedingten Kontaminationen verschleppungsfrei gewonnen werden; von vorrangiger Bedeutung ist die Entnahmetechnik für die eindeutige Erfassung der Basis eines Kontaminationsherdes.

Wenn möglich, gilt bei Sondierungen mit dem Bohrstock oder der Rammkernsonde sowie Trockenkernbohrungen, im Bohrloch nachgefallenes Material sowie Material aus den Kontaktbereichen zum Bohrgestänge zu verwerfen. Dies ist notwendig, da durchteuftes Bohrgut an der Innenwand des Bohrgestänges bzw. – in weit geringerem Maße – des Kunststoffschlauchs anhaftet und in darunterliegende Tiefen verschleppt wird. Das genannte Verfahren der Bohrkernentnahme nach Abbildung 5 ist bei Aufschluß von Lockersedimenten nicht oder nur bedingt möglich. Eine detaillierte Bodenansprache und Dokumentation von „Nachfall“ helfen jedoch, Falschergebnisse aufgrund von Verschleppungen richtig zu bewerten.



**Abb. 5: Querschnitt eines Bohrkerndurchschnitts (Schraffur zeigt den aus dem Bohrkern zu entnehmenden Bereich)**

Um Kontaminationsverschleppungen bei der Entnahme von gestörten Proben aus Baggerschürfen zu vermeiden, sollten die Proben jeweils bei Änderung der Bodenzusammensetzung oder in regelmäßigen Tiefenstufen entnommen werden. Vor Beprobung einzelner Schichtungen aus der Wandung des Schurfs sind mögliche Verschleppungen von Kontaminationen zu entfernen.

## **2.3.2 Ausreichende Probemenge**

### **2.3.2.1 Chemische Untersuchungen**

Zur Gewährleistung einer repräsentativen und für die chemischen Laboruntersuchungen ausreichenden Probemenge ist in der Regel etwa 1-2 kg Probematerial erforderlich, um insbesondere genügende Anteile der Feinfraktion zu erhalten. Können bestimmte

Untersuchungen bei spezifischem Verdacht von vornherein ausgeschlossen werden, kann die Probemenge nach Absprache mit dem Untersuchungslabor reduziert werden.

Für einzelne Schadstoffgruppen werden für die Analyse

folgende Mengen an Feinboden <2 mm benötigt:

- |                                                                       |       |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| – Anorganische Schadstoffe:                                           | 150 g |
| – Dioxine und Furane:                                                 | 500 g |
| – Chlorierte Kohlenwasserstoffe:<br>(LHKW, PCB, Organochlorpestizide) | 400 g |
| – PAK                                                                 | 500 g |

Bei sehr inhomogenem Material sollte die Entnahmemenge 5 000 g umfassen, um die Anteile >2 mm (z. B. Ziegelsteine oder andere mineralische Bestandteile) mit genügender Genauigkeit bestimmen zu können und um eine ausreichende Menge an Feinanteil zu gewährleisten.

Aus der Gesamtmenge einer vorliegenden Bodenprobe müssen grobe Anteile wie Steine, Holzstücke o. ä. aussortiert oder durch Absieben abgetrennt, beschrieben und ihre Gewichtsverhältnisse möglichst durch Wägung bestimmt werden; das wird am zweckmäßigsten im Labor durchgeführt. Die Analysenergebnisse werden bezogen auf den Feinanteil (soweit möglich <2 mm) angegeben, im allgemeinen berechnet auf die Trockensubstanz. Dies ist im Analysenprotokoll mit Angabe des Gewichts der aussortierten Teile zu vermerken.

Für qualitätssichernde Maßnahmen ist gegebenenfalls die Entnahme von Feldblindproben erforderlich.

Im allgemeinen richtet sich die zur Gewährleistung der Repräsentativität notwendige Probemenge nach der maximalen Korngröße des zu untersuchenden Materials, so daß für kiesige bis steinige Substrate größere Entnahmemengen von z. T. >4 kg erforderlich sind. Die erforderlichen Probemengen errechnen sich dabei nach der LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Altlasten)-Richtlinie PN 2/78 (Stand 12.1983). Diese gibt das Mindestgewicht nach der Formel  $G = 0,06 \cdot d$  an, wobei G das Gewicht der Probe in kg und d den maximalen Korndurchmesser in mm bedeuten.

Von Grobmaterialien (>10 cm), die möglicherweise Schadstoffe enthalten, sind repräsentative Anteile als Sonderproben zu entnehmen und für Einzelanalysen aufzubereiten. Ihr Massenanteil an der beprobten Schichteinheit ist zu dokumentieren.

### 2.3.2.2 Bodenphysikalische Untersuchungen

Der Zusammenhang zwischen maximaler Korngröße und Mindestprobenmenge für bodenphysikalische Untersuchungen ist in Tabelle 6 gemäß DIN 18123 bzw. 19683, Teil 1 dargestellt.

**Tabelle 6: Zusammenhang zwischen Durchmesser des Größtkorns einer Probe und der erforderlichen Mindestprobenmenge für die Bestimmung der Korngrößenverteilung (aus DIN 18123 und 19683, Teil1)**

Durchmesser des Größtkorns in mm	Mindestprobenmenge in g
2	150
5	300
10	700
20	2.000
30	4.000
40	7.000
50	12.000
60	18.000

### 2.3.3 Probenteilung bzw. -reduktion zur Gewinnung der Laborprobe

Um aus einer größeren Probenmenge eine für die Gesamtheit der Probe repräsentative Laborprobe zu erhalten, wird bei einer Haufwerkbeprobung für eine Probenteilung mit Reduktion die Methode des „Aufkegelns und Vierteln“ vorgeschlagen:

1. Zum Ablegen der Gesamtprobe ist für einen ebenen, sauberen und kontaminationsfreien Untergrund zu sorgen (z. B. Verwendung von Folien).
2. Die Gesamtmenge wird zu einem symmetrischen Kegel geformt, der anschließend abgeflacht wird. Grobmaterialien werden dabei nach 2.3.2.1 aussortiert und erfaßt.
3. Der abgeflachte Kegel wird durch Eindrücken eines Probenkreuzes geeigneter Größe aus Edelstahl geviertelt.
4. Zwei gegenüberliegende Viertel des Materials werden verworfen und gegebenenfalls fachgerecht entsorgt.
5. Die zwei restlichen Viertel werden erneut aufgekegelt und mit dem Probenkreuz in gleicher Weise geteilt. Dieser Vorgang ist so oft zu wiederholen, bis eine Reduktion der Gesamtmenge auf die für die Laborprobe erforderliche Menge erfolgt ist.

Eine weitere Möglichkeit der Probenentnahme und -reduzierung bieten die Riffel- und Drehteiler.

### 2.3.4 Probenauswahl

Bei der Reduzierung der Probenanzahl durch Auswahl von Einzelproben bzw. Herstellung von Mischproben ist sorgfältig zwischen der Einsparung von Analysenkosten und dem damit verbundenen Informationsverlust abzuwägen.

Bei der Orientierenden Erkundung, wo es darum geht, mit wenigen Meßpunkten einen Überblick über die Art und Konzentrationsverteilung von Schadstoffen zu erhalten und Maximalwerte zu erfassen, sollten grundsätzlich Einzelproben entnommen werden. Ist allerdings eine größere Dichte der Meßpunkte mit geringem Aufwand möglich (z. B. nur Beprobung des Oberbodens), dann ist bei einem regelmäßigen Raster die Gesamtfläche in 4 oder mehr gleich große Teile zu untergliedern und von jeder Teilfläche eine Mischprobe herzustellen. Mischproben werden durch die Mischung volumengleicher Einzelproben nach Homogenisierung durch intensives Verrühren z. B. in einer Edelstahlschüssel gewonnen und in ein gemeinsames geeignetes Probengefäß abgefüllt. Teile der Einzelproben sind aufzubewahren. Die Mittelwerte der Teilflächen wurden untereinander und mit den Hintergrundwerten verglichen. Erst eine signifikante Abweichung vom Hintergrundwert stützt einen Altlastenverdacht. Bei der Teilfläche mit dem höchsten Mittelwert wird mit der Einzelprobenanalyse begonnen, weil hier die Wahrscheinlichkeit am größten ist, den Maximalwert zu erfassen.

**Einzelproben** sollten immer entnommen werden

- bei Antreffen optisch auffälliger Horizonte
- bei Antreffen geruchlich besonders auffälliger Horizonte wie z. B. Ölkontaminationen, Teerverunreinigungen
- bei Antreffen von auffälligen Gegenständen wie z. B. Kanistern mit Füllung, Fässern u. a. (bei Greiferbohrung oder Schurf)
- für die Untersuchung auf leichtflüchtige organische Schadstoffe (z. B. LHKW oder BTX-Aromaten)
- aus den Bereichen direkt über dichtenden Bodenschichten
- aus der Grundwasserwechselzone.

Dort, wo weder organoleptische Auffälligkeiten noch sonstige Besonderheiten andere Tiefenintervalle verlangen, ist mindestens im Abstand von 1 m eine Probe zu entnehmen.

**Mischproben** sind nur dort repräsentativ, wo sie aus einem relativ homogenen Bereich mit begrenzter Ausdehnung stammen. Dieser Kenntnisstand ist erst bei einer Detailerkundung zu erwarten. Es ist nicht zulässig, stark belastete Proben mit wenig belastetem Material „herunterzumischen“.

Abweichend davon kann es in Einzelfällen, wie z. B. bei Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen, zur Bewertung der Verwertbarkeit oder Deponierfähigkeit von kontaminiertem Boden oder zur Abschätzung potentieller Schadstoffverlagerungen aus dem Kontaminationsbereich sinnvoll sein, Mischproben des gesamten kontaminierten Materials unabhängig von den sonstigen Bodeneigenschaften zu erzeugen.

Bei schwierigen Fragestellungen kann es zweckmäßig sein, vor Ort Einzelproben zu entnehmen und erst im Labor daraus Mischproben herzustellen. Teile der Einzelproben können dann als Rückstellproben für evtl. notwendige Nachuntersuchungen aufbewahrt werden.

**Rückstellproben** sind aus den sichergestellten Proben zu nehmen. Die Rückstellproben sind erforderlich, um bei veränderter Fragestellung, die sich gegebenenfalls im nachhinein aus den Ergebnissen der Analysen ergibt, Probenmaterial für weitere chemisch-physikalische Untersuchungen zur Verfügung zu haben.

Der bei der Analyse zurückbleibende Rest sollte als Analysen-Rückstellprobe aufbewahrt werden, wobei für jede dieser Proben mindestens zwei Aufbewahrungsbehälter zu verwenden sind, um sowohl analysenfein gemahlene Probengut als auch die unbehandelte Originalprobe getrennt aufbewahren zu können.

Das Nehmen und Aufbewahren von Rückstellproben sind i. d. Regel ökonomischer als eine möglicherweise erneut nötige Beprobung.

### **2.3.5 Haufwerksbeprobungen und Beprobung von bewegten Materialien aus Bodenreinigungsanlagen**

Die Beprobung von Haufwerken geschieht z. B. im Rahmen von Bodenbehandlungsmaßnahmen sowie verschiedenen Aushub- und Sanierungsverfahren, die im Ergebnis einer Technischen Erkundung durchgeführt werden.

Da die Einordnung der kontaminierten Böden zu den verschiedenen Entsorgungs- und Verwertungswegen und die damit verbundenen Kosten durch die Analysenwerte des Probenmaterials bestimmt werden, ist auf die Repräsentativität der entnommenen Proben größter Wert zu legen. Es wird hier versucht, praxisbezogene Hinweise zu geben, die den besonderen Anforderungen bei Altlastensanierungen gerecht werden und die eine repräsentative Beprobung von Aushubmaterial sicherstellen.

Aufgrund der fallweise sehr großen Unterschiede, z. B. bezüglich Schadstoffart, -verteilung und -menge sowie Korngrößenzusammensetzung, können solche Vorgaben jedoch nur grundsätzlicher Art sein. Es werden zumindest Anhaltspunkte dafür gegeben, wie repräsentative und praxisorientierte Beprobungen durchgeführt werden können. Nachfolgend werden Vorgaben für die Beprobung von Haufwerken und von Böden aus Bodenreinigungsanlagen aufgeführt. Bei schwierigen Fragestellungen und größeren Kubaturen sind jedoch die zuständigen Fachbehörden zur Festlegung geeigneter Strategien miteinzubeziehen.

#### **2.3.5.1 Grundsätze**

Notwendige Voraussetzung für die Festlegung einer geeigneten Probenahmestrategie sind Vorkenntnisse über das zu beprobende Material hinsichtlich Art, erwarteten Schadstoffgehalts und Verteilung der Schadstoffe und Korngrößenverteilung. Das Material ist in der vorliegenden Korngrößenverteilung zu beproben. Hierbei sind Einzelproben in gleichbleibenden Gewichtsanteilen zu entnehmen. Zu beachten ist, daß das kontaminierte

Material durch geeignete Maßnahmen (z. B. Ablagerung auf und Abdeckung mit Folien) vor Abschwemmungen, Auswaschungen und Verwehungen zu sichern ist.

### 2.3.5.2 Haufwerksbeprobung

Die geeignete Probenahmestrategie ist in Abhängigkeit von der Schadstoffart und Schüttung des Haufwerks auszuwählen.

Grundsätzlich ist bei der Haufwerksbeprobung folgendes sicherzustellen:

- Der Aushub ist zu überwachen und verschiedenen kontaminierte Bereiche sind zu separieren (Vermischungsverbot!).
- Die jeweiligen Kubaturen des separierten Materials sind abzuschätzen.

Die Anzahl der Einzel- und Mischproben ist von der Größe der Kubatur bzw. Masse des Haufwerkes abhängig, wobei zu bedenken ist, daß die Erstellung kleinerer Haufwerke und somit die Analyse von vergleichsweise mehr Proben als bei Haufwerken mit größeren Kubaturen ökonomisch zweckmäßiger sein kann, da die Einordnung des belasteten Materials zu einem bestimmten Entsorgungsweg feiner regulierbar ist. Die entsprechenden Zahlen für die Anzahl der Einzel- und Mischproben sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Jede Einzelprobe soll aus ca. 5 m<sup>3</sup> Bodenmaterial entnommen werden. Als Dichte kann ein Anhaltswert von ca. 1,7-2 t/m<sup>3</sup> angenommen werden. Die genaue Dichte sollte jedoch – soweit möglich – vor Ort bestimmt werden. Das Gewicht jeder Einzelprobe richtet sich korngößenabhängig nach der angeführten Formel  $G = 0,06 \cdot d$  (vgl. S. 15). Zur Erstellung der Mischproben werden die Einzelproben vor Ort homogen vermischt. Eine Probemenge von 1 kg soll nicht unterschritten werden. Weitere Hinweise zur Probeteilung siehe unter Kapitel 2.3.3.

**Tabelle 7: Beprobung von Haufwerken**

Größe der Haufwerks	Anzahl der zu erstellenden Mischproben	Anzahl der zu entnehmenden Einzelproben je Mischprobe
bis 50 t	1	6
bis 100 t	2	6
bis 200 t	3	8
bis 400 t	4	12
bis 500 t	5	12
bis 700 t	6	14
bis 1000 t	7	17
bis 1500 t	8	22
bis 2000 t	9	26
über 2000 t	je angefangene 500 t zusätzlich je eine Mischprobe	$\frac{m}{n_{\text{MSP}} \cdot p \cdot 5 \text{ m}^3}$ <sup>1</sup>

Für die Beprobung von Haufwerken bieten sich u. a. die folgenden drei Probenahmestrategien an, die hier kurz dargestellt werden sollen:

- oberflächennahe Entnahme: Die Proben sind aus den Mieten aus definierten Entnahmebereichen (z. B. 1 m<sup>2</sup>) oberflächennah zu entnehmen. Das Grobkorn-/Feinkornverhältnis ist möglichst realitätsnah zu erfassen. Die Entnahmeflächen sind auf den Böschungen und dem Plateau der Mieten anzuordnen. Der geprobte Entnahmebereich sollte nach Kornverteilung und Materialart so repräsentativ wie möglich erfaßt werden.
- Beprobung nach Ausbreitung der Mieten: Die Mieten werden vor der Probenahme bis zu einer Schichthöhe von ca. 30 cm flächig ausgebreitet. Beprobung der Mieten wie oben.
- Bohrstockbeprobung: Mit Hilfe eines Bohrstocks werden Proben aus unterschiedlichen Entnahmetiefen (z. B. 0,5 m, 1 m, 1,5 m) entnommen und zu Mischproben vereinigt.

Die Mieten können dabei als Einzelmieten kleinerer Kubatur (z. B. 10-20 m<sup>3</sup>) oder als Längsmieten größerer Kubaturen ausgebildet werden. Größere Mieten sind je zu entnehmende Mischprobe in einzelne Lose zu unterteilen. Die geforderten Einzelproben sind gleichmäßig über die einzelnen Lose zu verteilen.

Im allgemeinen zeigt sich, daß die o. g. Beprobungsstrategien bei schwerflüchtigen Schadstoffen (z. B. Schwermetalle) zu vergleichbaren Meßergebnissen führen. Die Strategien sind deshalb durchaus alternativ anzuwenden. Bei der Ausbreitung der Mieten vor der Beprobung sind mögliche Untergrundkontaminationen und Staubverwehungen durch geeignete Maßnahmen zu verhindern.

Bei flüchtigen Schadstoffen sind die Mieten mit dem Bohrstock zu beproben.

Im Rahmen der Beprobung von Haufwerken bzw. Abfällen ist das Probenahmeprotokoll gemäß Anlage 3 für jede Mischprobe auszufüllen.

### **2.3.5.3 Beprobung von bewegten Materialien aus Bodenreinigungsanlagen**

Material aus Bodenreinigungsanlagen unterscheidet sich vor allem hinsichtlich seiner Homogenität und einer im allgemeinen genauer bekannten Korngrößenverteilung von zu beprobenden Haufwerken aus Bodenaushub. Zudem ist die Größenordnung der zu erwartenden Schadstoffgehalte aus Vorversuchen bekannt.

Für den Beprobungsumfang sollte hier je ca. 10 m<sup>3</sup> eine Einzelprobe entnommen werden. Aufgrund der Homogenität des Materials reicht es im allgemeinen jedoch aus, wenn sich die Anzahl der zu erstellenden Mischproben an Tabelle 8 orientiert.

**Tabelle 8: Beprobung von bewegten Materialien aus Bodenreinigungsanlagen**

Größe der Kubatur	Anzahl der zu erstellenden Mischproben	Anzahl der zu entnehmenden Einzelproben je Mischprobe
bis 100 t	1	6
bis 400 t	2	12
bis 700 t	3	14
bis 1000 t	4	15
bis 1500 t	5	18
bis 2000 t	6	20
bis 2500 t	7	21
bis 3000 t	8	22
über 3000 t	je angefangene 1000 t zusätzlich je eine Mischprobe	$\frac{m}{m_{\text{MSP}} \cdot p \cdot 5 \text{ m}^3}$ <sup>1</sup>

## 2.4 Probenbehandlung

### 2.4.1 Probengefäße und Prüfparameter

#### 2.4.1.1 Allgemeines

Alle Proben müssen unverzüglich in geeignete Probengefäße überführt werden, zuerst die Proben für die Untersuchung auf flüchtige Stoffe. Schlauchkernproben, die zur Untersuchung von flüchtigen Schadstoffen entnommen wurden, sollten möglichst erst im Labor geöffnet werden. Die hochempfindlichen Bestimmungsverfahren für Schadstoffe im Spurenbereich erfordern Probengefäße von hoher Reinheit. Aus diesen Gründen ist es für den Anwender von großer Bedeutung, zu wissen, welche Arten von Probengefäßen es gibt und für welche Prüfparameter diese geeignet sind. Des Weiteren sind die Verfahren und Techniken für die Reinigung dieser Probengefäße sehr wichtig, da somit Kontaminationen des eigentlichen Probengutes vermieden werden können. Ferner wird auf die Problematik der Behandlung von Probengefäßen mit Schliffen eingegangen. Ein in der Praxis ebenfalls nicht zu unterschätzender Punkt ist die Problematik der eindeutigen Beschriftung der Probengefäße nach durchgeführter Beprobung, da häufig durch den Proben transport extrem wichtige Informationen zur Probe durch unleserliche oder nicht eindeutige Probenbeschriftungen verloren gehen können, was im Extremfall, aus wissenschaftlichen Gründen, eine Neubeprobung (sofern in bestimmten Fällen überhaupt noch möglich) notwendig machen kann. Aus diesem Grund wird nachfolgend ein Verfahren einer GLP-gerechten, eindeutigen Beschriftung der Probengefäße vorgestellt.

#### 2.4.1.2 Arten von Probengefäßen

Als Glasmaterial für den Einsatz als Probengefäße wird ausschließlich das chemisch beständige sogenannte Bor-Silikatglas nach DIN-ISO 3585 empfohlen.

Wird ein sogenanntes Kalk-Soda-Glas (AR-Glas oder Weichglas) als Probenahmegefäß eingesetzt, so ist vom Anwender zu bedenken, daß, im Vergleich zum Borsilikatglas, die

chemische Stabilität und die Temperaturwechselbeständigkeit deutlich schlechter sind. Nur wenn in Abhängigkeit vom zu bestimmenden Prüfparameter keine Veränderung der Probenmatrix (durch Kalk-Soda-Gläser) zu befürchten ist, kann dieser Glastype auch für Probenahmegefäße verwendet werden. Im Zweifelsfall ist dies jedoch experimentell nachzuweisen.

Braunglasflaschen (unabhängig von der Materialart) absorbieren Licht bis zu einer Wellenlänge von ca. 500 nm. Für Bodenproben werden die Gefäßtypen 1-8 und 15 (bei leichtflüchtigen Schadstoffen) empfohlen (siehe Anlage 4). Aus der Tabelle 9 ist die Zuordnung der Gefäßtypen in Abhängigkeit von den Prüfparametern ersichtlich.

**Tabelle 9: Zuordnung Prüfparameter - Probengefäß für Matrix Boden**

Gefäßtyp	Matrix Boden
1	Außer AI, alle anorganischen und organischen Parameter sowie Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten.
2	Außer AI, alle anorganischen und organischen Parameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten sowie Summenparameter, sofern keine Probenveränderung durch diesen Glastype möglich ist.
3	Außer AI, alle anorganischen und organischen Parameter.
4	Alle anorganischen Parameter und Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten sowie AOX.
5	Alle anorganischen Parameter und Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten sowie AOX.
6	Alle anorganischen Parameter und Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten sowie AOX.
7	Alle anorganischen Parameter und Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten sowie AOX.
8	Nicht für die Untersuchung von Proben (zur Analytik) auf Prüfparameter. Nur zur Probenaufbewahrung von Rückstellmustern zur visuellen Begutachtung.
15	Als Head-space-Gefäß für flüchtige organische Komponenten.

### 2.4.1.3 Reinigung und Konditionierung der Probengefäße

Das Ziel der Reinigung sind kontaminationsfreie, neue oder gebrauchte Probengefäße, die bei der nachfolgenden Untersuchung in bezug auf die gezogenen Probenmatrizes und die entsprechenden Prüfparameter, keine Blindwerte erzeugen.

- **Gefäße aus Na- oder Bor-Silikatgläsern**

Bei der Reinigung von Probengefäßen aus Na-Silikatgläsern (Weichgläsern) oder Bor-Silikatgläsern (Hartgläsern) ist lediglich in bezug auf Gefäße mit und ohne Schliff beim Trocknungsschritt zu differenzieren (siehe Anlage 5). Die Art und Weise der Grundreinigung neuer oder gebrauchter Gefäße ist identisch. Chemikalien wie Chromschwefelsäure oder alkalische, 30%ige Kaliumpermanganatlösung werden nicht mehr zur Reinigung derartiger Probengefäße eingesetzt.

- **Gefäße aus Polyethylen oder anderen PTFE-freien Kunststoffen**

Die Reinigung dieser Probengefäße, Verschlußteile etc. erfolgt analog Anlage 6. Beutel aus Polyethylen werden keinerlei Reinigungsmaßnahmen unterzogen und grundsätzlich nicht wiederverwendet. Sofern Kunststoffbeutel aus Polyethylen für die Lagerung, Aufbewahrung oder den

Transport von Probenmaterial verwendet werden, ist bei der nachfolgenden Untersuchung und Angabe der Meßwerte auf die mögliche Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse durch die nichtgereinigte Polyethylenfolie hinzuweisen.

- **Gefäße aus PTFE**

Die Reinigung der Gefäße aus PTFE erfolgt analog Anlage 5.

- **Gefäße aus unbeschichtetem und beschichtetem Weißblech (innen)**

Diese Probengefäße werden in selteneren Fällen für Bodenproben zur Langzeit-Lagerung und zur Aufbewahrung größerer Mengen (als Rückstellmuster) verwendet. Die Gefäße und Verschlußsysteme sind grundsätzlich nicht gebraucht einzusetzen und werden als Neuware innen manuell nach Anlage 5 gereinigt. Die Trocknung erfolgt ebenfalls manuell, z. B. mit einem haushaltsüblichen Fön.

- **Bördelkappen-Verschlußsysteme und Septen, teilweise PTFE-kaschiert**

Diese Probengefäße werden grundsätzlich neu verwendet.

#### **2.4.1.4 Beschriftung der Probengefäße**

Unter einer GLP-gerechten Beschriftung der Proben versteht man ein Kennzeichnungssystem, das gesichert und eindeutig jede Verwechslung von Proben untereinander auf Dauer ausschließt. Dies bedeutet, daß Probenbezeichnungen wie „Probe 1“ oder „Nr. 1, schwarzgrauer Boden“ nicht geeignet sind, um derartige Proben-Verwechslungen auszuschließen. Folgendes Nummern-System der Kennzeichnung von Proben wird vorgeschlagen.

Die je Probe zu vergebende Nummer hat folgenden Aufbau:

Auftrags-Nr. (vierstellig) – Jahr, Monat, Tag (je zweistellig) – Probe-Nr. (vierstellig) – Probengefäßanzahl und /-nummer (je zweistellig)

Beispiel: 1034–960113–0124–15/03

Erläuterungen:

- Auftrags-Nr. (vierstellig), z. B.: 1034 (Auftrags-Nummer: 1034)
- Jahr/Monat/Tag (je zweistellig), z. B.: 960113 (Jahr: 1996, Monat: 01 = Januar, Tag: 13, entspricht dem Datum: 13.01.1996)
- Probe-Nr. (vierstellig), z. B.: 0124 (Probe-Nr. 124)
- Probengefäßanzahl und -nummer (je zweistellig, z. B.: 15/03 (Gefäß Nr. 3 von insgesamt 15 Gefäßen, die an dieser Probenahmestelle gefüllt wurden). Bei lediglich einem Gefäß je Probe lautet die Bezeichnung: 01/01.

Es hat sich bewährt, diese Probe-Nummer bereits vor Ort, bei der Probenahme, zu vergeben und die entsprechenden Probengefäße sofort mit dieser Nummer zu kennzeichnen. Diese Nummer begleitet die Probe (bzw. die entsprechenden Gefäße) bei allen nachfolgenden Teilschritten der Bearbeitung, unabhängig davon, wo die weitere Probenbearbeitung erfolgt.

Dieses Proben-Nummern-System hat folgende Vorteile:

- Die Probe ist auf Dauer eindeutig und GLP-gerecht gekennzeichnet.
- Durch die Vergabe einer vierstelligen Auftragsnummer sollte eine problemlose Anbindung an interne Proben-Managementsysteme möglich sein.
- In der Probe-Nummer ist das Datum der Probenahme integriert.
- Je Auftragsnummer können bis zu 9999 Proben mit einer unterschiedlichen Anzahl an Gefäßen (je Probe und Tag) gezogen werden.
- Der Analytiker erkennt sofort welches Gefäß (einer Probenserie) er zur Bearbeitung vor sich hat oder ob nur ein Gefäß einer Probe existiert. Je Probe können bis zu 99 verschiedene Gefäße (desselben Probematerials) existieren.
- Anweisungen zur Erstellung von Mischproben können (sofern notwendig) sehr spezifiziert erfolgen.
- Aufkleber und Art der Beschriftung gewährleisten die Dauerhaftigkeit der Probenbeschriftung.

Von erheblicher Bedeutung ist, daß zur Beschriftung der Probengefäße verwendete Aufkleber dauerhaft die Lesbarkeit der Probenbeschriftung gewährleisten. Es empfiehlt sich, die Aufkleber vor der Probenahme herzustellen und zu prüfen, ob eine ausreichende Haftung zum Material der Probengefäße besteht. Des weiteren ist sicherzustellen, daß die verwendeten Aufkleber gegen Feuchtigkeit resistent sind (nicht zerfallen oder sich ablösen) und die Beschriftung auch nach längerer Lagerzeit (z. B. in Kühlzellen) noch lesbar ist. Dies bedeutet, daß Probengefäß-Beschriftungen, ohne Aufkleber, nur mit sogenannten „Permanent Markern“ nicht zulässig sind.

Die Probengefäße sollten ausschließlich mit der o. g. Proben-Nummer gekennzeichnet sein. Weitere Daten zur Probe bzw. zur Probenahme etc. sollten im sogenannten Probenahme-Protokoll vermerkt werden.

## **2.4.2 Probenkonservierung**

### **2.4.2.1 Allgemeines**

Grundsätzlich gilt, daß Proben der Altlastenerkundung unverzüglich zu untersuchen sind. Bis dahin ist durch geeignete Maßnahmen zu gewährleisten, daß der Zustand der Probe zum Zeitpunkt der Entnahme erhalten bleibt und nicht durch biologische und/oder chemische Prozesse

verändert wird. Diesem Zweck dient die Probenkonservierung.

Man unterscheidet zwei Arten der Konservierungsmethoden (LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 1995):

- physikalische Verfahren (z. B. Kühlen, Tiefgefrieren) und
- chemische Verfahren (Zugabe fester oder gelöster Chemikalien vor Ort).

Grundsätzlich sind die physikalischen Verfahren der Probenkonservierung den chemischen Verfahren vorzuziehen. Eine Zugabe von Chemikalien sollte nur dann erfolgen, wenn die Kühlung der Proben nicht ausreichend sicher ist, um eine Veränderung der Probe bezüglich bestimmter Prüfparameter auszuschließen. Konkrete Angaben sind teilweise in standardisierten Analysenvorschriften (z. B. DIN- oder EPA-Vorschriften) enthalten. In jedem Fall ist eine chemische Konservierung der Proben mit dem Untersuchungslabor abzustimmen.

Sind bereits zur Entnahme der Proben Probenvorbereitungsmaßnahmen (z. B. Filtrieren, Sedimentieren) durchzuführen, so erfolgen diese grundsätzlich vor der Konservierung der Probe (LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 1995).

### **2.4.2.2 Konservierung von Bodenproben**

Bodenproben werden ausschließlich durch Kühlung konserviert. Konservierungsmethoden für Bodenproben, im Sinne der Zugabe von Chemikalien, sind nicht bekannt.

## **2.4.3 Bodenansprache und Probenahmeprotokoll**

Nach der Auswahl geeigneter Probenahmepunkte sowie eines Entnahmeverfahrens muß eine detaillierte Bodenansprache entsprechend AG Bodenkunde (1994) erfolgen, welche die Interpretation der Ergebnisse ermöglicht.

Wesentliche Voraussetzung für die Qualitätssicherung bei der Bodenansprache und der Probenahme ist eine präzise und umfassende Dokumentation (Anlage 7). Hierzu gehören die Boden- und Bodenproben-Beschreibung, eine Skizze/ Kartierung der Untersuchungsfläche, die Einmessung der Probenahmestellen und ein exakt ausgefülltes Probenahmeprotokoll.

Die Probenahmestellen sind in einem Übersichts-Lageplan einzutragen. Unter Umständen ist darüber hinaus für jede einzelne Probeentnahmestelle eine gesonderte Lageskizze anzufertigen. Die Bohrprofile sind grafisch in Balkenform gemäß DIN 4023 darzustellen. Bei

Durchführung der Bohrungen durch eine Bohrfirma sind die Originalbohrprotokolle (nach DIN 4022) als Anlage beizulegen.

## **2.4.4 Probentransport**

### **2.4.4.1 Probentransport ohne Berücksichtigung besonderer Maßnahmen**

Der Transport von Proben ohne Berücksichtigung besonderer Maßnahmen, wie z. B. Kühlung der Proben, sollte nur dann vorgenommen werden, wenn sichergestellt ist, daß durch den Probentransport keine Veränderungen in der Zusammensetzung der Proben stattfinden. Aus diesem Grund sollten Boden- und Wasserproben durch den Probentransport nicht auf Temperaturen  $<4\text{ °C}$  oder  $>25\text{ °C}$  temperiert werden. Des Weiteren ist bei Proben mit flüchtigen Komponenten darauf zu achten, daß durch den Probentransport keine Ausgasungen stattfinden können. Im Regelfall wird dies durch den Einsatz speziell gasdichter Probengefäße erreicht. Sollen in Proben lichtempfindliche Komponenten bestimmt werden, so hilft oft ein Einwickeln der Proben in Aluminiumfolie um den Zutritt von Tageslicht zu verhindern.

Bodenproben, Wasserproben und Gasproben (nur Adsorber-Röhrchen) können ohne Berücksichtigung besonderer Maßnahmen transportiert werden, wenn o. g. Temperaturbedingungen eingehalten werden und Abbaureaktionen die Probenmatrix nicht verändern. Gasproben in Gasbeuteln oder Gasmäusen sind bei Raumtemperatur (ca.  $20\text{ °C}$ ) zu transportieren, um Kondensationsprozesse in den Proben zu verhindern.

### **2.4.4.2 Probentransport unter Kühlung**

Generell vorzuziehen ist jedoch ein Transport von Boden-, Wasser- und Gasproben (nur Adsorber-Röhrchen) bei  $4\text{ °C}$ , um speziell mikrobiologische Reaktionen im Probegut zu verhindern bzw. stark zu reduzieren. Besitzt ein Transportfahrzeug für Proben eine derartige Kühleinrichtung, so hat dies den zusätzlichen Vorteil, daß die Proben praktisch sofort nach der Probenahme auf die Temperatur von  $4\text{ °C}$  heruntergekühlt werden können.

### **2.4.4.3 Dokumentation des Probentransportes**

Zur eindeutigen Dokumentation des Transportes von Proben ist die Erfassung der Daten entsprechend Anlage 8 notwendig. Das Probentransportprotokoll ist gesichert aufzubewahren und Bestandteil einer GLP-gerechten Bearbeitung und Begutachtung der Proben.

## **2.4.5 Probenlagerung**

Die Entscheidung über geeignete Maßnahmen hängt vom Einzelfall ab. Grundsätzlich ist jedoch eine Kühlung bei Lagerung von Proben vorzusehen.

Oft ist die Kühlung bei ca.  $4\text{ °C}$ , möglichst in einem begehbaren Kühlraum, für kürzere Zeiträume ausreichend. Sollen Abbauvorgänge vollständig unterbunden werden, empfiehlt sich bei einigen Prüfparametern das Einfrieren und Aufbewahren bei ca.  $-20\text{ °C}$ . Bei

wässrigen Proben eignen sich hierfür allerdings nur Kunststoffbehälter als Probengefäße. Das Einfrieren und Auftauen der Proben muß in diesen Fällen zügig erfolgen, um mögliche Entmischungserscheinungen zu verhindern.

Unabhängig von der Art der Kühlzellen (Kühlung bis 4 °C oder -20 °C) sollten diese ex-geschützt und mit einem Warnsystem bei Temperaturüberschreitung ausgestattet sein. Für die Einhaltung der GLP-Vorschriften müssen die Kühlzellen zusätzlich mit einem vollautomatischen Temperaturschreiber ausgestattet sein, der es auch im nachhinein erlaubt die entsprechende Lagertemperatur der Proben, zu bestimmten Zeitpunkten, zu kontrollieren.

Bodenproben, die nur auf nichtflüchtige anorganische Schadstoffe zu untersuchen sind, können in einem Umlufttrockenschrank bei 40-60 °C getrocknet und anschließend ohne Kühlung aufbewahrt werden. Bodenproben, die auf organische Schadstoffe untersucht werden sollen, lassen sich nur unter Tiefkühlung längere Zeit lagern.

Bei gefährlichen und reaktiven Stoffen müssen zur Verhütung von Unfällen besondere Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, z. B.:

- separate Lagerung unverträglicher Stoffe,
- umlaufende Standflächenabgrenzung,
- Vermeiden elektrostatischer Aufladung (Erdung von Regalen, kein Umfüllen im Lager),
- keine Heizkörper in Probennähe,
- ex-geschützte Elektroinstallation im Probenlager,
- Brandmelder,
- abflußlose, flüssigkeitsdichte und chemikalienfeste Bodenwanne,
- Luftaustausch mit der freien Atmosphäre (mind. 5facher Luftwechsel pro Stunde), der auch in Fußbodennähe wirksam wird.

## **2.5 Sonstiges**

### **2.5.1 Arbeitsschutz**

Bei der Probenahme von Flächen mit Bodenbelastungsverdacht sind ebenso wie bei der Aufbereitung, der Sanierung oder Bauausführung die Belange des Arbeitsschutzes, insbesondere die des persönlichen Schutzes des Probenehmers zu beachten. Vor der Probenahme ist festzulegen, welche persönlichen Schutzausrüstungen mitzuführen sind. Der Auftragnehmer ist für eine entsprechende Sicherheitsunterweisung seiner Mitarbeiter verantwortlich.

Einzelheiten zum Arbeitsschutz bei der Probenahme sind dem Materialienband „Arbeitsschutz bei der Altlastenbehandlung“ zu entnehmen.

## 2.5.2 Spartenerkundung

Im Rahmen von Probeentnahmen muß sichergestellt sein, daß eine Beschädigung von Sachgütern (Ver- und Entsorgungs-Kommunikationsleitungen etc.) vermieden wird. Hierzu sind u. a. bei den zuständigen Behörden die aktuellen Leitungspläne einzusehen und eine Flächenfreigabemappe zu erstellen. Die erforderlichen Erkundungen können grundsätzlich durch den Auftraggeber oder den Auftragnehmer durchgeführt werden. Die Zuständigkeiten hierfür sind jedoch bereits vor Auftragsvergabe abzuklären und vertraglich festzuschreiben. Beim Vorhandensein von Leitungen in der Nähe von Bohr- oder Beprobungspunkten ist mit besonderer Sorgfalt zu arbeiten. Die Beschädigung von Leitungen bei Erdarbeiten, die ohne vorherige Abstimmung der Bohr- oder Beprobungspunkte mit den Versorgungsträgern/Baubehörden vorgenommen werden, löst eine zivilrechtliche Haftung aus. Der Verlauf der Trassen ist auf die Feldkarten zu übertragen. Zusätzlich ist vor Beginn der Erdarbeiten die Sondierungsstelle mit einem Metallsuchgerät zu überprüfen.

Zu konsultierende Stellen sind:

- Kampfmittelräumdienste
- Fernmeldeämter
- Elektrizitätswerke
- Wasserwerke
- Gaswerke
- Baubehörden.

## 2.5.3 Entsorgung von Probegut

Nach § 1 Abs. 1 AbfG sind Abfälle bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will, oder deren geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Schutzes der Umwelt, geboten ist. Nach dieser Definition wird für die Untersuchungen nicht benötigtes Probegut stets zu entsorgungspflichtigem Abfall, der nicht wiederverfüllt werden darf, da die entnommenen Proben durch die Entnahme aus dem Bodengefüge zu beweglichen Sachen werden, welche das Wohl der Allgemeinheit beeinträchtigen können.

Dies gilt zumindest so lange, bis durch die analytische Untersuchung der Proben genauere Kenntnisse über Art und Menge der enthaltenen Schadstoffe vorliegen. Eine nur juristische Betrachtung dieses Problemfeldes wirft jedoch die Fragen auf, ob es ökologisch sinnvoll und ökonomisch vertretbar ist, kleine Bereiche einer Altlastenverdachtsfläche zu

entsorgen (verlagern) und mit unbelastetem Material zu verfüllen – in dieses somit zu kontaminieren –, wenn der Großteil der Fläche – u. U. sogar ungesichert – vor Ort verbleibt.

Andererseits ist zu bedenken, daß Eingriffe in eine Altlast stets eine Veränderung des Bodengefüges im Bereich des Eingriffs nach sich ziehen, die zu erhöhter Mobilität der Schadstoffe in diesem Bereich führen können (Lockerung des Bodengefüges, Umlagerung kontaminierter Schichten, Änderung der mikrobiologischen Tätigkeit durch Sauerstoffzufuhr u. a.).

Aus diesen Gründen ist es nicht möglich, allgemeine Empfehlungen hinsichtlich der Frage zu geben, ob entnommenes Probengut wiederverfüllt werden kann oder stets zu entsorgen/wiederverwerten ist. Eine Entscheidung dieser Frage muß stets die einzelfallspezifischen Gegebenheiten vor Ort berücksichtigen.

Hierbei ist u. a. folgendes zu beachten:

- Art der vermuteten Schadstoffe und deren potentielle Mobilisierbarkeit durch äußere Eingriffe
- Hydrogeologische Standortbedingungen (Untergrundbeschaffenheit, Grundwasserflurabstand etc.)
- Mengen, Konzentrationen und evtl. Schichtdicken der Kontaminationen
- Relativer Massenanteil der Proben im Verhältnis zur gesamten Altlast.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte sollte aufgrund o. a. Probleme durch den Bohrunternehmer/Gutachter unter Einbeziehung der für Abfallentsorgung zuständigen Fachbehörde(n) stets einzelfallspezifisch über eine notwendige Entsorgung oder eine mögliche Wiederverfüllung des Probegutes in das Bohrloch/den Schurf entschieden werden. Organoleptisch erkennbare starke Verunreinigungen und auffällige Gegenstände (Fässer, Kanister, Gebinde etc.) sind jedoch generell zu entnehmen und ordnungsgemäß zu entsorgen.

Im Gegensatz hierzu sind nicht mehr benötigte Laborproben stets ordnungsgemäß zu entsorgen. Eine Vermischung von hochbelasteten mit weniger belasteten Proben ist hierbei zu unterlassen. Hierzu ist es zweckmäßig, bereits im Labor eine Trennung verschieden stark belasteter Proben vorzunehmen. Die Entsorgungskosten sind bereits bei der Angebotsabgabe zu berücksichtigen.

## 2.6 Literatur

- /1/ Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden (1996): Anleitung zur Entnahme von Bodenproben. - Geologische Landesämter und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- /2/ Arbeitsgruppe Bayerisches Landesamt Für Umweltschutz (1995): Qualitätssicherung bei der Entnahme von Bodenproben im Rahmen von Altlastenuntersuchungen. - München (Entwurf).
- /3/ Arbeitsgruppe Bodenkunde (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 4. Aufl. Hannover.
- /4/ Ingenieurtechnischer Verband Altlasten (1994): Aufschlußverfahren zur Probengewinnung für die Untersuchung von Verdachtsflächen und Altlasten. - (Entwurf), in: Altlastenspektrum 4 (1995), Heft 1.
- /5/ Kaltwang, J.; Link, R.; Rosenberg, M. & Schreiber, W. (1995): Empfehlungen zur Bodenprobenahme bei Altlasten- und Verdachtsflächenuntersuchungen. - Heft 13 der Schriftenreihe des Berufsverbandes Deutscher Geologen, Bonn.
- /6/ Lawa Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1995): AQS-Merkblätter für die Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. - 4. Lieferung 1995, Berlin.
- /7/ Leuchs, W. (1991): Probenahme bei Altlasten. - LWA-Materialien, Düsseldorf.
- /8/ Linnerberg, W. (Hrsg.) (1995): Einsatz von DV-Methoden im Umweltbereich - 4. Jahrestagung der Fachsektion

- /9/ Geoinformatik der Deutschen Geologischen Gesellschaft. - Schriftenreihe des BDG, Heft 14, Bonn.
- /10/ Scheffer, B. (1996): Probenahmeanleitung Wirkungspfad Boden-Grundwasser. - Bremen (Entwurf).
- /11/ Scholz, B. (1997): Probenbehandlung. - Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Oppenheim (Entwurf).
- /12/ Tietze, Jörg (1995): Geostatistisches Verfahren zur optimalen Erkundung und modellhaften Beschreibung des Untergrundes von Deponien. - Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe D, Bd. 9. Diss., Selbstverlag Fachbereich Geowissenschaften, FU Berlin.
- /13/ Verwaltungsvereinbarung Ofd Hannover-Bam (1995): Anforderungen an Untersuchungsmethoden zur Erkundung und Bewertung kontaminationsverdächtiger/kontaminierter Flächen und Standorte auf Bundesliegenschaften. - (Stand Juni 1996).
- /14/ Viereck, L.; Ewers, U. & Fliegner, M. (1993): Erarbeitung und Zusammenstellung von Hinweisen zur Entnahme und Untersuchung von Bodenproben. - Hygiene-Institut des Ruhrgebietes, Gelsenkirchen.

## 3 Grundwasser

Im Teil Grundwasser sind vor allem folgende Arbeiten verwendet:

- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1996): Leitfaden Erkundungsstrategie Grundwasser. - Karlsruhe. (für Kapitel 3.1, 3.2, 3.3)
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (1997): Merkblatt Grundwasserprobenahme in Sachsen. - Radebeul. (für Kapitel 3.4, 3.6, 3.7, 3.8)
- Scholz, B. (1996): Probenbehandlung. - Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz (Entwurf). (für Kapitel 3.5.).

Die verwendeten Abkürzungen sind in Anlage 9 zusammengestellt.

### 3.1 Probenahmestrategie

Das Grundwasser ist sowohl als Transportpfad bis zur Stelle seiner Nutzung als auch als eigenständiges Schutzgut zu betrachten. Die Erkundung des Grundwassers dient der Ermittlung der aktuellen Schadstoffbelastung und -verteilung und der Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse, um eine (noch) nicht meßbare Schadstoffausbreitung im Abstrom des Schadherdes durch Modellierung vorhersagen zu können. Eine Probenahmestrategie Grundwasser ist auf diese Zielstellung auszurichten.

#### 3.1.1 Hydrogeologisches Arbeitsmodell

Die Grundlage für die Probenahmestrategie bildet das hydrogeologische Arbeitsmodell, in das folgende Informationen eingehen:

- Geometrisches Modell
  - Schichtaufbau, Schichtlagerung, Tektonik (Gliederung in Grundwasserstockwerke, Lage der stockwerkstrennenden Schichten, schwebende Grundwasserstockwerke)
  - Homogene/heterogene Grundwasserleiter
  - Hydraulische Verbindungen mit benachbarten Grundwasserleitern
  - Geometrie der Grundwassersohle (insbesondere bei känozoischen Rinnen) und der randlichen Begrenzung des Grundwasserleiters
- Kennwertmodell
  - Transmissivität, Durchlässigkeitsbeiwert, durchflußwirksamer Hohlraumanteil, Speicherkoeffizient, Dispersivität
- Wasserhaushaltlich-hydraulisches Modell
  - Flurabstand der freien Grundwasseroberfläche bzw. Grundwasserdruckfläche unter Berücksichtigung jahreszeitlicher Schwankungen

- Grundwasserfließrichtung und Abstandsgeschwindigkeit mit Berücksichtigung wasserstandsabhängiger Variationen
  - Vorflutverhältnisse, Infiltration/Exfiltration
  - Grundwasserneubildung
- Hydrochemisches Modell

Die hydrogeologischen Daten sind in Sachsen mit dem Programm UHYDRO zu erfassen. Daraus wird das Formblatt für das hydrogeologische Arbeitsmodell nach Anlage 10 zusammengestellt. Erste Angaben liefert die Historische Erkundung, die als Grundlage für die Probenahmestrategie zur Orientierenden Erkundung dienen muß. Aus den vorhandenen Informationen ist das Modell zu entwickeln und durch geologische Karten und Schnitte zu veranschaulichen. Mit fortschreitendem Beweismiveau ist auch das hydrogeologische Arbeitsmodell zu qualifizieren. Alle nachstehenden Ausführungen über eine formalisierte Festlegung der Meßstellen sind am hydrogeologischen Arbeitsmodell auf Sinnhaftigkeit und Plausibilität zu prüfen.

### 3.1.2 Anzahl der Grundwassermeßstellen

Die Anzahl erforderlicher Grundwassermeßstellen ergibt sich aus den je nach Beweismiveau zu erfassenden Flächenanteilen von der Grundwasser-Querschnittsfläche AA. Die Anzahl ist abhängig von der Breite der Grundwasser-Querschnittsfläche BA und der an den einzelnen Meßstellen zu erfassenden Abstrombreite a. Voraussetzung für die Ermittlung der Lage der Strecke BA ist die Kenntnis der Grundwasserfließrichtung. Sie kann über eine Meßstellenanordnung in Form eines hydrogeologischen Dreieckes (Methode D1) bestimmt werden.

Die Breite BA ergibt sich aus der Breite des Gefahrenherdes rechtwinklig zur Grundwasserfließrichtung und deren Schwankungsbereich. Durch die Grundwassermeßstellen soll ein definierter Anteil von BA untersucht werden. Dies erfolgt durch Pumpversuche und die dabei erfaßte Abstrombreite a. Mit Hilfe des hydrogeologischen Arbeitsmodells kann a bestimmt bzw. abgeschätzt werden. Neben der Ergiebigkeit der Meßstelle ist a abhängig von der Pumpversuchsdauer tPV und der Entnahmerate QPV.

Bei heterogenen Grundwasserleitern ist die Bestimmung der Meßstellenanzahl über die Abstrombreite a oft nicht möglich oder nur grob abschätzbar, da beispielsweise Kluftabstände und Wasserwegsamkeiten nicht hinreichend bekannt sind. In diesen Fällen sollte zunächst eine Meßstelle pro 50 m von BA eingerichtet werden. Für Standorte durchschnittlicher Größe wird damit sichergestellt, zunächst mit maximal 1-3 Meßstellen für die Orientierende Erkundung auszukommen. Mit zunehmenden Erkundungsgrad ist es notwendig, mit der Meßstellenanordnung vorallem die wasserwegsamsten Störungs- und Kluftzonen zu erfassen. Kann für a ein Wert zuverlässig angegeben werden, erfolgt die Ermittlung der Meßstellenanzahl n iterativ nach dem Kriterium:

$n \cdot a$	=	$0,2 \cdot BA$ für E1-2 (OE)
$n \cdot a$	=	$0,5 \cdot BA$ für E2-3 (DE)
$a$	=	erfaßte Abstrombreite nach Pumpdauer tPV [m]
$n$	=	Meßstellenanzahl [-]
BA	=	Breite der Grundwasser-Querschnittsfläche [m]

Für die Planung bedeutet dies, daß durch die gewählte Kombination von Meßstellenanzahl, Pumpversuchsdauer und Entnahmerate die Möglichkeit einer Erfassung von mindestens 20 % bzw. 50 % der Grundwasser-Querschnittsfläche AA bestehen soll.

Zugeschnitten auf den Einzelfall erfolgt eine Variation der Parameter Meßstellenanzahl  $n$  und der erfaßten Abstrombreite  $a$ . Berücksichtigt werden hier technische und finanzielle Aspekte zur standortgerechten Umsetzung der geplanten Erkundungsmaßnahmen.

Durch die Wahl einer hohen Entnahmerate und einer langen Versuchszeit bis zur Probenahme kann eine große Abstrombreite  $a$  je Meßstelle erfaßt werden. Um dadurch keine übermäßige Verdünnung zu bewirken, sollte  $a$  nicht mehr als 20 m betragen.

Durch die schrittweise Vorgehensweise muß unter erkundungstechnischen und kostenminimierenden Gesichtspunkten versucht werden, eine für den Einzelfall optimale Kombination von Meßstellenanzahl, Entnahmerate, Pumpversuchsdauer und erzielter Erfassung des Grundwasserabstromes zu erreichen.

Bei der Festlegung der Anzahl notwendiger Grundwassermeßstellen zur Erfassung des vorgegebenen Flächenanteiles von AA sind auch geeignete, bereits vorhandene Grundwasseraufschlüsse (z. B. Quellen) zu berücksichtigen. Die Eignung vorhandener Grundwassermeßstellen muß bezüglich ihrer Lage zu BA und dem Meßstellenausbau überprüft werden. Die aus der Faustformel bzw. aus der iterativen Bestimmung ermittelte Meßstellenanzahl  $n$  stellt die im Abstrom notwendige Meßstellenanzahl dar. Sind aus dem Zustrom des Gefahren- bzw. Schadensherdes keine zuverlässigen Daten vorhanden, ist eine weitere Meßstelle (Zustrommeßstelle) einzurichten.

Neben der Abschätzung der zu erfassenden Abstrombreite in der Planungsphase, sollte nach der Durchführung von Pumpversuchen eine Überprüfung der tatsächlich erreichten Abstrombreite unter Verwendung der ermittelten Werte erfolgen. Bei einer Unterschreitung des zu erfassenden Flächenanteiles

$n \cdot a$	=	$0,2 \cdot BA$ für E1-2 bzw.
$n \cdot a$	=	$0,5 \cdot BA$ für E2-3

ist im Einzelfall zu prüfen, ob weitere technische Erkundungsmaßnahmen erforderlich sind.

Die prinzipielle Vorgehensweise zur Ermittlung der erforderlichen Meßstellenanzahl zeigt das Flußdiagramm der Abbildung 6a. Zu einzelnen Handlungsanweisungen im Standard können für bestimmte einzelfallspezifische Besonderheiten Alternativen (nach Abb. 6b) angewendet werden.

Bei großen Grundwasserflurabständen ( $>30\text{ m}$ )<sup>1</sup> kann der durch die Meßstelle zu erfassende Flächenanteil von AA verringert werden

auf 10 % von BA für E<sub>1-2</sub>

auf 25 % von BA für E<sub>2-3</sub>.

Bei sehr heterogenen Verhältnissen (z. B. komplizierte Lagerungsverhältnisse im Randpleistozän, stark gestörte Kluft-Grundwasserleiter im Festgestein) und hohem Grundwasserflurabstand besteht die Möglichkeit, von der Anwendung der Faustformel abzuweichen. Die Anzahl der Grundwassermeßstellen kann dann unter der nach der Faustformel ermittelten liegen. Weiter ist zu klären, ob durch Verwendung vorhandener Grundwasseraufschlüsse (z. B. Quellen, vorhandene Grundwassermeßstellen) auf neu herzustellende Meßstellen verzichtet werden kann.

Liegen Kenntnisse über die Homogenität des Grundwasserleiters und der Schadstoffverteilung vor, sind die ermittelten Daten des erfaßten Flächenanteiles möglicherweise auf den geforderten Flächenanteil übertragbar (Regionalisierung). Die Meßstellenanzahl kann dadurch reduziert werden. Wechselnde Abflußverhältnisse zwischen Standort und Vorfluter bedingen eine Erhöhung der Anzahl an Grundwassermeßstellen durch eine wechselnde Lage der zu erfassenden Grundwasserquerschnittsfläche AA.

Eine Erhöhung der Meßstellenanzahl ist ebenfalls bei einer Gliederung in unterschiedliche Grundwasserstockwerke notwendig. Solange nicht die hydraulische Verbindung nachgewiesen ist, werden Stockwerke getrennt erkundet.

Bei sehr mächtiger, geringdurchlässiger, ungesättigter Zone kann unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten auf Grundwassermeßstellen verzichtet werden, sofern die Gefahren- bzw. Schadensherd-Erkundung eine zuverlässige Ermittlung von  $c_{SH}$  ermöglicht. Die Mächtigkeit muß dazu mindestens 15 m, der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f < 1 \cdot 10^{-7}\text{ m/s}$  betragen.<sup>1</sup>

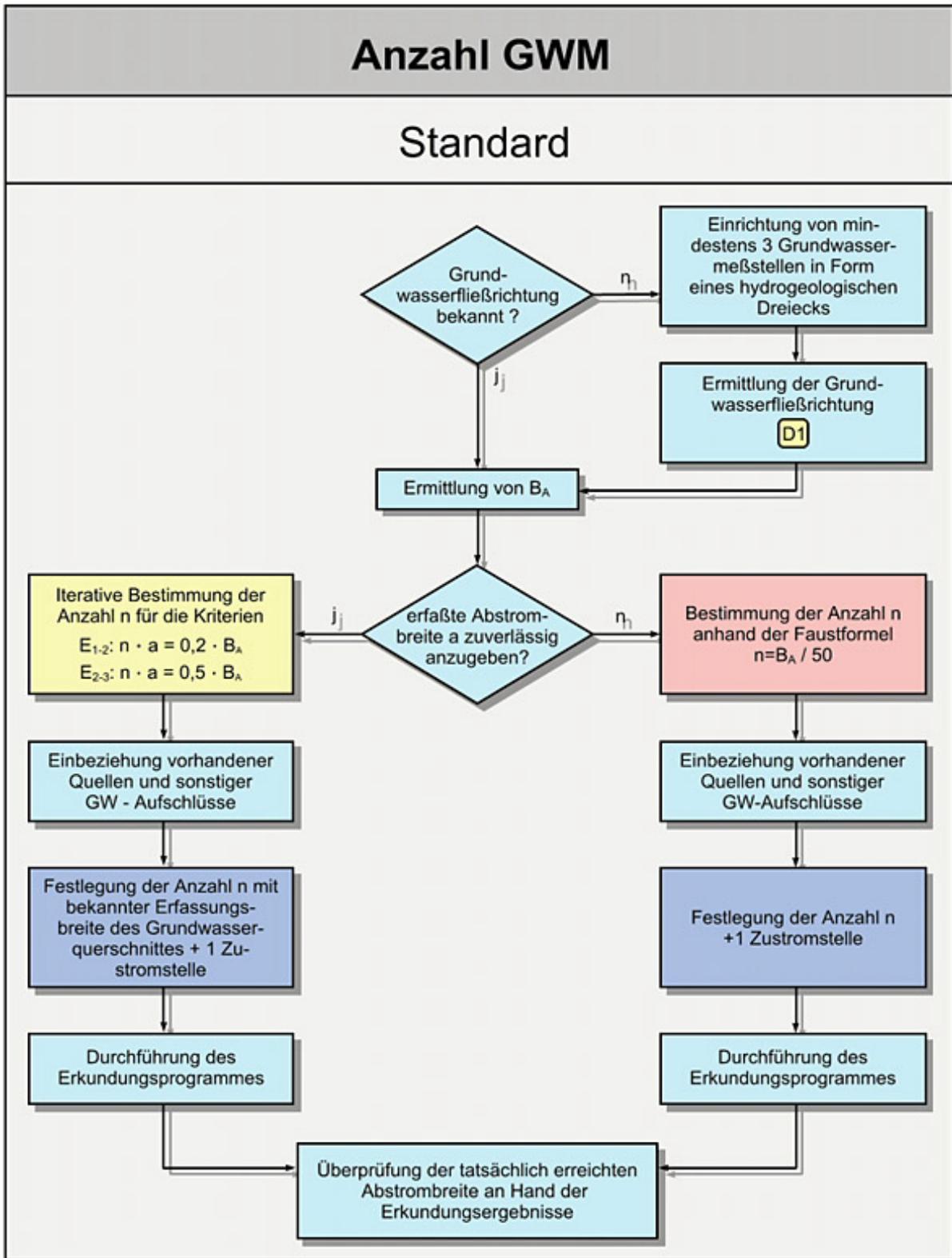


Abb. 6a: Vorgehensweise zur Bestimmung der Anzahl von Grundwassermeßstellen (GWM) - Standard

Anzahl GWM	
Alternative	
Einzelfallspezifische Besonderheit	Abweichungen/Alternativen zum Standard
GW-Flurabstand >30 m	– reduzieren der zu erfassenden Abstrombreite auf 10 % (E <sub>1,2</sub> ) und 25 % (E <sub>2,3</sub> )
sehr heterogene Verhältnisse: z. B. Kluft-Grundwasserleiter und hoher Grundwasserflurabstand	– Festlegung der Anzahl von Meßstellen nach fallspezifischen Gesichtspunkten – Beschränkung auf vorhandene aussagekräftige GW-Aufschlüsse (z. B. Quellen) – Verzicht auf GW-Meßstellen, wenn eine direkte Gefahren- bzw. Schadensherderkundung möglich ist
Gefahren- bzw. Schadensherderkundung und Aufbau des Grundwasserleiters lassen homogene Schadstoffverteilung erwarten	– Reduzierung der Meßstellenanzahl gegenüber Standard, da auf zu erfassende Abstrombreite a aus kleinen tatsächlich erkundeten Teilflächen rechnerisch geschlossen werden kann
wechselnde Abflußverhältnisse zwischen Standort und Vorfluter	– Erhöhung der Anzahl an GWM aufgrund wechselnder Lage der Grundwasserquerschnittsfläche (A <sub>A</sub> )
mehrere GW-Stockwerke sind vorhanden	– Erhöhung der Meßstellenanzahl zur Erkundung des tieferen GW-Stockwerks
Mächtigkeit der ungesättigten Zone >15 m und Durchlässigkeitsbeiwert $k_f < 1 \cdot 10^{-7}$ m/s	– Verzicht auf GW-Meßstellen, wenn Gefahren- bzw. Schadensherderkundung möglich

**Abb. 6b: Vorgehensweise zur Bestimmung der Anzahl von Grundwassermeßstellen (GWM) - Alternative**

### Ermittlung der erfaßten Abstrombreite a

Die erfaßte Abstrombreite a kann in erster Näherung abgeschätzt werden:

$$a = 2 \cdot \sqrt{\frac{t_{PV} \cdot Q_{PV} \cdot 3.600}{\pi \cdot h_{GW} \cdot n_f}} \rightarrow t_{PV} = \frac{a^2 \cdot \pi \cdot h_{GW} \cdot n_f}{Q_{PV} \cdot 14.400}$$

(abgeleitet aus der „Zylinderformel der Porengeschwindigkeit“)<sup>2</sup>

- a = erfaßte Abstrombreite der Meßstelle zum Zeitpunkt  $t_{PV}$  [m]
- $t_{PV}$  = Pumpversuchsdauer [h]
- $Q_{PV}$  = Entnahmerate [ $m^3/S$ ]
- $h_{GW}$  = Grundwassermächtigkeit [m]
- $n_f$  = durchflußwirksamer Hohlraumanteil

Die Beziehung beschreibt, aus welcher Entfernung  $a/2$  Wasser während eines Pumpversuches die Meßstelle erreicht. Die Entfernung hängt hierbei von der Auslegung des Pumpversuches ( $t_{PV}$ ,  $Q_{PV}$ ) und von den hydrogeologischen Parametern ( $n_f$ ,  $h_{GW}$ ) ab.

Die Zylinderformel kann strenggenommen nur unter den vereinfachten Annahmen

- einer vernachlässigbaren natürlichen Grundwasserfließgeschwindigkeit
- einer radialsymmetrischen Anströmung der Meßstelle während der Entnahme (homogener Grundwasserleiter)

angewendet werden. Die Zylinderformel ist in vielen Fällen ausreichend zur Bestimmung von  $a$ .

Bei einer vernachlässigbaren Grundwasserfließgeschwindigkeit beschreibt folgende Gleichung die Zuströmung:

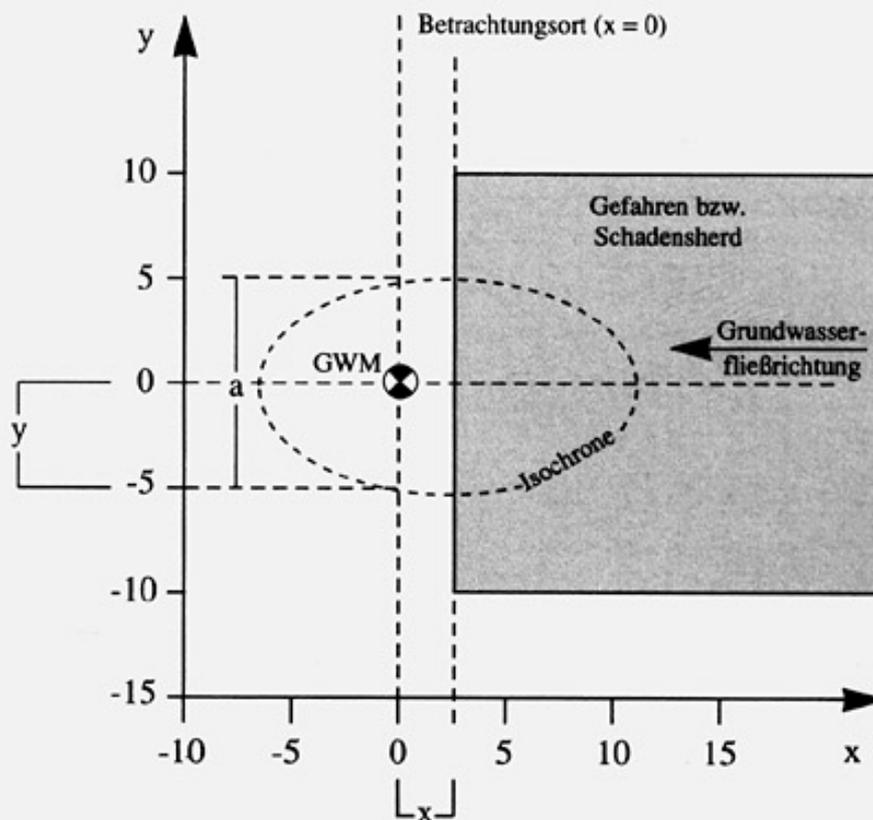
$$t_{PV} = \left( \frac{n_f \cdot Q_{PV} \cdot 86.400}{2 \pi \cdot v_f^2 \cdot h_{GW}} \cdot \left[ x \cdot \frac{2 \pi \cdot h_{GW} \cdot v_f}{Q_{PV} \cdot 86.400} \right. \right. \\ \left. \left. - \ln \cdot \left( x \cdot \sin \left[ y \cdot \frac{2 \pi \cdot h_{GW} \cdot v_f}{Q_{PV} \cdot 86.400} \right] / y \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \cos \left[ y \cdot \frac{2 \pi \cdot h_{GW} \cdot v_f}{Q_{PV} \cdot 86.400} \right] \right) \right] \right) \cdot 24$$

Linien gleicher Fließzeit (Isochronen) bei stationärer, paralleler Grundströmung<sup>3</sup>

$v_f$  = Filtergeschwindigkeit  $v_f = k_f \cdot I \cdot 86.400$  [m/d]

$x, y$  = Ortskoordinaten [m]

Argument für sin und cos im Bogenmaß



$a$  = erfaßte Abstrombreite für  $x = 0$  m [m]

In Tabelle 10 sind beispielhaft die nach der Gleichung von Bear, J. & Jacobs, M. (1995) und nach der Zylinderformel berechneten Fließzeiten für unterschiedliche erfaßte Abstrombreiten

dargestellt. Variiert werden die Parameter Entnahmerate  $Q_{PV}$ , Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$ , durchflußwirksamer Hohlraumanteil  $n_f$  und das hydraulische Gefälle  $I$ .

**Tabelle 10: Fließzeiten berechnet nach BEAR, J & JACOBS, M. (1995) und nach der Zylinderformel für erfaßte Abstrombreiten von  $a = 10$  m und  $a = 5$  m im Lockergestein**

$h_{GW} = 20$ m $x = 0$ $y = a/2$			$t_{PV}$ [h]					
			$a = 10$ m			$a = 5$ m		
			$Q_{PV}$ [m <sup>3</sup> /s]	$k_f$ [ms]	$n_f$ [-]	BEAR & JACOBS		Zylinder- formel
$I = 0,001$	$I = 0,01$	$I = 0,001$				$I = 0,01$		
0,01	$1 \cdot 10^{-2}$	0,2	9,4	n. b.	8,7	2,2	n. b.	2,2
0,005	$1 \cdot 10^{-2}$	0,2	26,0	n. b.	17,5	4,7	n. b.	4,4
0,005	$1 \cdot 10^{-3}$	0,2	17,5	26,0	17,5	4,4	4,7	4,4
0,003	$1 \cdot 10^{-4}$	0,25	36,4	36,6	36,4	9,1	9,1	9,1
0,002	$1 \cdot 10^{-4}$	0,05	10,9	11,1	10,9	2,7	2,7	2,7
0,001	$1 \cdot 10^{-5}$	0,15	65,5	65,5	65,4	16,4	16,4	16,4
0,001	$1 \cdot 10^{-5}$	0,05	21,8	21,8	21,8	5,5	5,5	5,5
0,0003	$1 \cdot 10^{-6}$	0,05	72,7	72,7	72,7	18,2	18,2	18,2
0,0002	$1 \cdot 10^{-6}$	0,01	21,8	21,8	21,8	5,5	5,5	5,5

n. b.:  $t_{PV}$  nicht bestimmbar, Punkt (x, y) liegt außerhalb der Trennstromlinie

Tabelle 10 verdeutlicht, daß bei hohem Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  in Verbindung mit hohem Grundwassergefälle  $I$ , der Rechenansatz nach Bear, J. & Jacobs, M. (1995) vorzuziehen ist.

### 3.1.3 Positionierung von Grundwassermeßstellen

Zur Positionierung der erforderlichen Grundwassermeßstellen ist  $B_A$  zu ermitteln. Dies erfolgt anhand der Grundwasserfließrichtung (Methode D1) und der Geometrie des Gefahren- bzw. Schadensherdes (Abb. 7a, 7b).

Bei bekannter und gleichbleibender Grundwasserfließrichtung ergibt sich  $B_A$  rechtwinklig zur Fließrichtung unmittelbar im Abstrom des Gefahren- bzw. Schadensherdes.  $B_A$  wird dabei begrenzt durch die Einhüllenden des Gefahren- bzw. Schadensherdes in Fließrichtung. Läßt sich bei wechselnder Grundwasserfließrichtung eine vorherrschende Richtung bestimmen, kann ebenso verfahren werden.

Wenn jedoch der Schwankungsbereich der Fließrichtung berücksichtigt werden muß, ist dies nicht zulässig. Dann werden zuerst die Tangenten in Richtung der beiden extremen Fließrichtungen an den Gefahren- bzw. Schadensherd gelegt.  $B_A$  liegt senkrecht zur Winkelhalbierenden.

Der Abstand von Grundwassermeßstellen zum Gefahren- bzw. Schadensherd sollte zur Minimierung nicht quantifizierbarer Verdünnungseffekte im Bereich des einfachen Flurabstandes liegen, jedoch 30-50 m nicht übersteigen.<sup>1</sup> Dabei sind Möglichkeiten des lateralen Schadstofftransportes in der ungesättigten Zone zu berücksichtigen.

Durch die Lage der Grundwassermeßstellen nahe an  $B_A$ , kann vereinfachend deren erfaßte Abstrombreite  $a$  parallel zu  $B_A$  als Streckenanteil von  $B_A$  bestimmt werden.

Ein geometrischer Ansatz zur Positionierung der Grundwassermeßstellen ist möglich, wenn die Schadstoffausbreitung in ungesättigter und gesättigter Zone in grober Näherung als homogen betrachtet werden kann. Dann sind die Meßstellen mehrheitlich entlang  $B_A$  so anzuordnen, daß sie überwiegend den Abstrom des Flächen- bzw. Konzentrationsschwerpunkts erfassen.

Ansonsten lassen sich verschiedene Untersuchungsverfahren zur Festlegung der Bohrpunkte heranziehen.

Hinweise aus Fotolineationen (Methode A1) sind zur Positionierung von Grundwassermeßstellen im Festgestein dann heranzuziehen, wenn Lineare im Bereich des Gefahren- bzw. Schadensherdes oder im unmittelbaren Umfeld erkennbar oder bekannt sind.

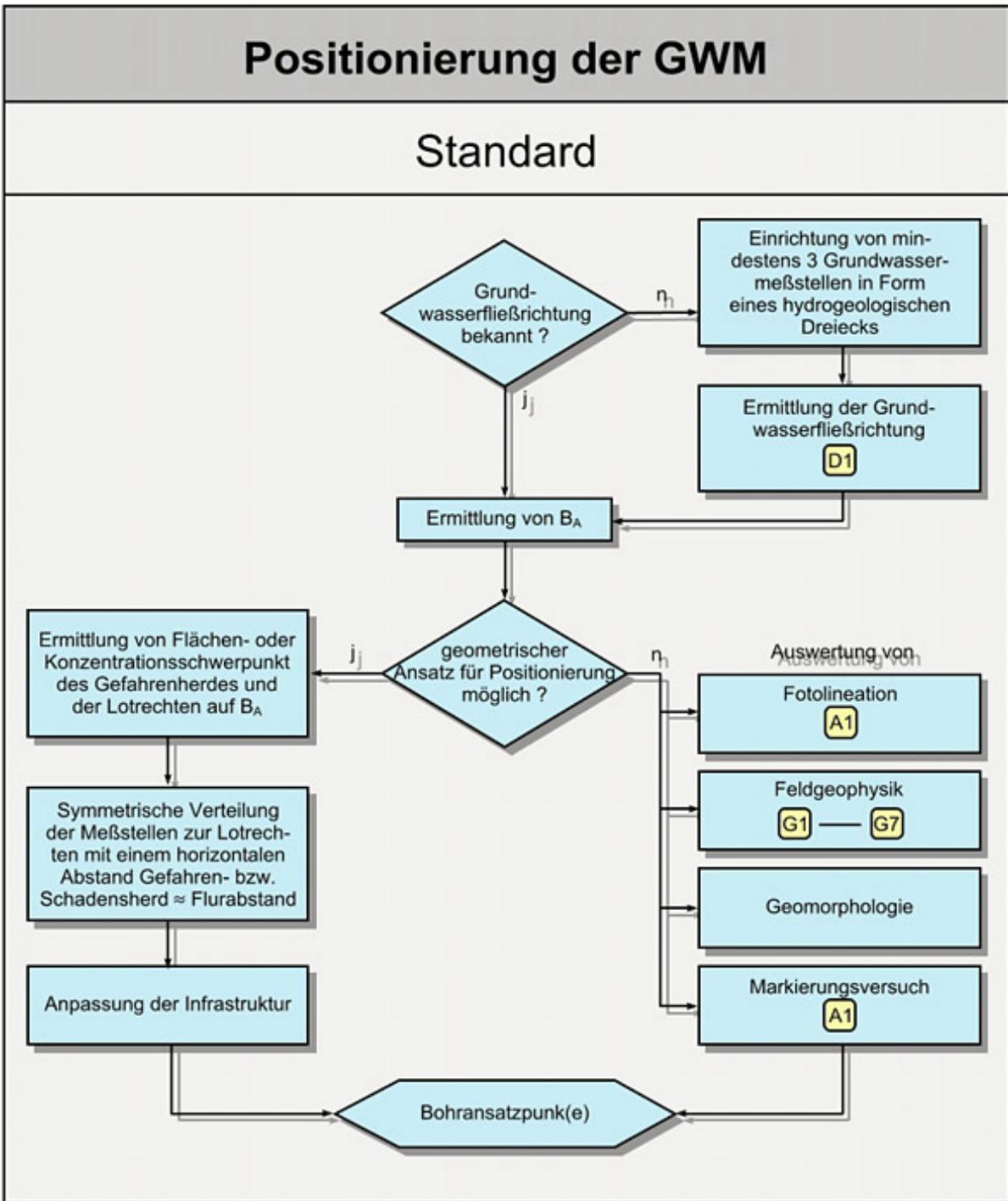


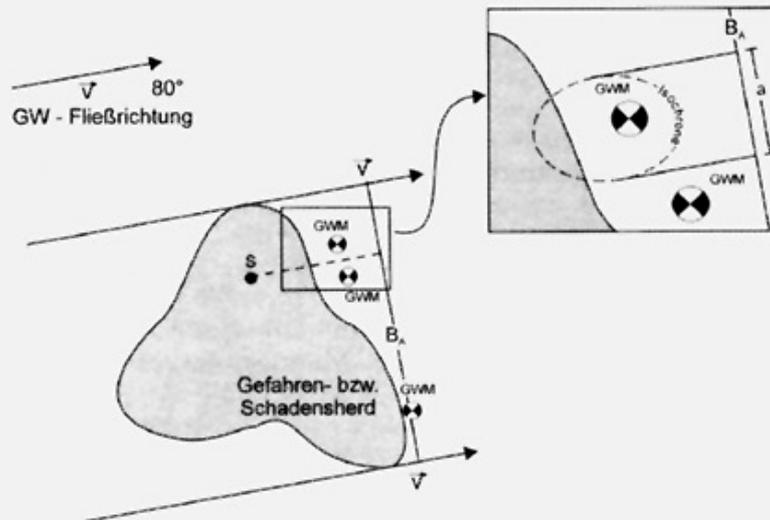
Abb. 7a: Vorgehensweise zur Positionierung der Grundwassermeßstellen (GWM) - Standart

# Positionierung GWM

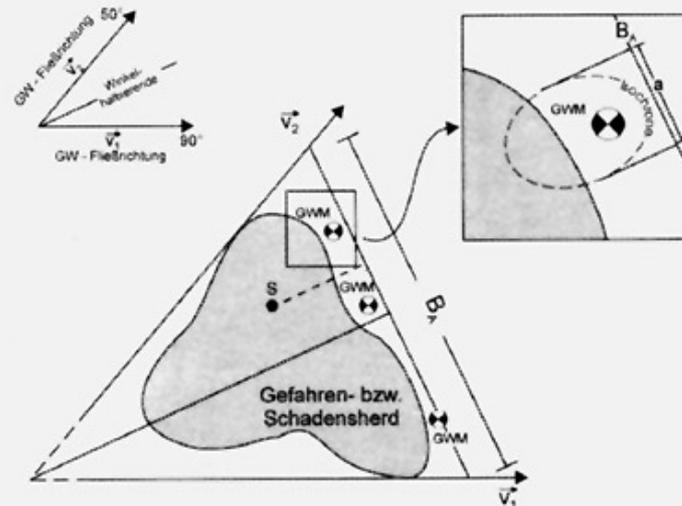
## Ermittlung von $B_A$

### Aufsicht (Grundriß)

gleichbleibende GW - Fließrichtung



wechselnde GW - Fließrichtung



S: Flächen- bzw. Konzentrationsschwerpunkt  
Gefahren- bzw. Schadensherd

$B_A$ : Breite der Grundwasser-  
querschnittsfläche

a: erfaßte Abstrombreite

GWM: Grundwassermeßstelle

Abb. 7b: Vorgehensweise zur Positionierung der Grundwassermeßstellen (GWM) - Ermittlung von  $B_A$

Durch geoelektrische Untersuchungen können bevorzugte Fließwege oder bei geringem Flurabstand Schadstoffbahnen abgegrenzt werden. Durch seismische Untersuchungen lassen sich Störungszonen und Grenzschichten lokalisieren (Methoden G1-G7).

Geomorphologische Erscheinungsformen können zur Positionierung von Grundwassermeßstellen ebenso herangezogen werden wie Ergebnisse aus Markierungsversuchen (Methode E9).

### **3.2 Meßstellenbau und Bohrlochgeophysik**

Bohrungen zum Bau von Grundwassermeßstellen (Methode B2) sind nach Möglichkeit im Trockenbohrverfahren

niederzubringen. Damit ist bis auf Ausnahmefälle (hoher Wassergehalt in der ungesättigten Zone) das Erkennen von Grundwasserzutritten während der Bohrarbeiten möglich. Bei Notwendigkeit einer Spülung ist primär eine Luftspülung vorzusehen. Sollte eine Spülflüssigkeit aus bohrtechnischen Gründen erforderlich sein, ist möglichst nur Wasser mit Trinkwasserqualität ohne Spülzusätze zu verwenden. Durch diese Forderung soll eine nachhaltige Beeinflussung des Grundwassers vermieden werden. Sind Spülzusätze unvermeidbar, ist nach DVGW (Deutscher Verband für Grundwasser)-Arbeitsblatt W 116 zu verfahren.

Die Art und Weise des Meßstellenausbaues ist entscheidend für die Qualität von analytischen Befunden. Dem Meßstellenausbau kommt damit eine wichtige Rolle zu. Prinzipiell sind Grundwassermeßstellen so zu errichten, daß ein hydraulisch vollkommener Ausbau über den direkt betroffenen Grundwasserleiter erreicht wird.

Als Orientierungsgröße für hydraulisch vollkommenen Ausbau kann die Bezeichnung

Ausbautiefe  $>0,7 \cdot h_{GW}$

verwendet werden.

Ab dieser Ausbautiefe kann bei der hydraulischen Auswertung von Pumpversuchen auf eine Korrektur verzichtet werden.<sup>1</sup> Die gesamte Mächtigkeit des direkt betroffenen Grundwasserleiters sollte aber zumindest durch eine Bohrung ganz erschlossen werden, sofern sie 30 m nicht übersteigt.

Der Ausbau von Grundwassermeßstellen muß sowohl im Locker- als auch im Festgestein abgestimmt auf Wasserstand, Wasserzutritte sowie den vertikalen Gesteinsaufbau erfolgen. Dazu muß das Bohrprofil geologisch aufgenommen werden. Ist dies anhand von Bohrgut oder durch bohrlochgeophysikalische Untersuchungen nicht sicher möglich, sind Kernbohrungen auszuführen. Form und Umfang der Dokumentation sind mit dem Programm UHYDRO festgelegt.

Ein bohrlochgeophysikalisches Standardprogramm (Methoden H1-H7) ist in der Regel bei einer aufgeschlossenen Grundwassermächtigkeit von mehr als 10 m im unverrohrten Bohrloch auszuführen. Es umfaßt Flowmeter-, Temperatur-, Salinometer-, Gamm-Ray-, Kaliber- und Elektrik-Log. Sollte aufgrund der Gebirgseigenschaften eine Verrohrung z. B. in

Form von einem Stützfilterrohr notwendig sein, wird das Standardprogramm um das Kaliber-Log reduziert.

Liegen schwebende Grundwasserkörper oder mehrere schichtgebundene Zuflüsse vor, ist im Einzelfall ein tiefendifferenzierter Ausbau oder jeweils getrennte Meßstellen vorzusehen (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau: DVWK-Merkblatt „Tiefenorientierte Grundwasserprobennahme“).

Insbesondere bei tiefen Grundwassermeßstellen kann zur Funktionskontrolle eine Überprüfung des Ausbaues nach Fertigstellung durch eine Kamerabefahrung oder bohrlochgeophysikalische Untersuchungen zweckmäßig sein. Durch das Gamma-Ray- und das Elektrik-Log können in günstigen Fällen Tonabdichtungen und Filterkies bzw. Filter- und Vollrohrstrecken unterschieden werden. Durch das Flowmeter, das Salinometer- und das Temperatur-Log können Wasserzutritte in der Meßstelle ermittelt werden.

Bei gespannten Grundwasserverhältnissen bleibt die Filterstrecke auf den Bereich des Grundwasserleiters beschränkt. Ansonsten sollte die Filterstrecke 1-2 m über den höchsten zu erwartenden Grundwasserstand vorgesehen werden (Methode B5).

Eine Durchführung von Bohrlochgeophysik und/oder Kamerabefahrung sind zur Eignungsprüfung und Bestimmung der Ausbaudaten und Hinterfüllung von bestehenden Meßstellen mit unbekanntem Ausbau neben hydraulischen Verfahren notwendig.

Die prinzipielle Vorgehensweise beim Meßstellenbau und Festlegung von bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen zeigt das Flußdiagramm Abbildung 8a.

Zu einzelnen Handlungsanweisungen im Standard können für bestimmte einzelfallspezifische Besonderheiten die Alternativen nach Abbildung 8b angewendet werden.

# Meßstellenbau / Bohrlochgeophysik

## Standard

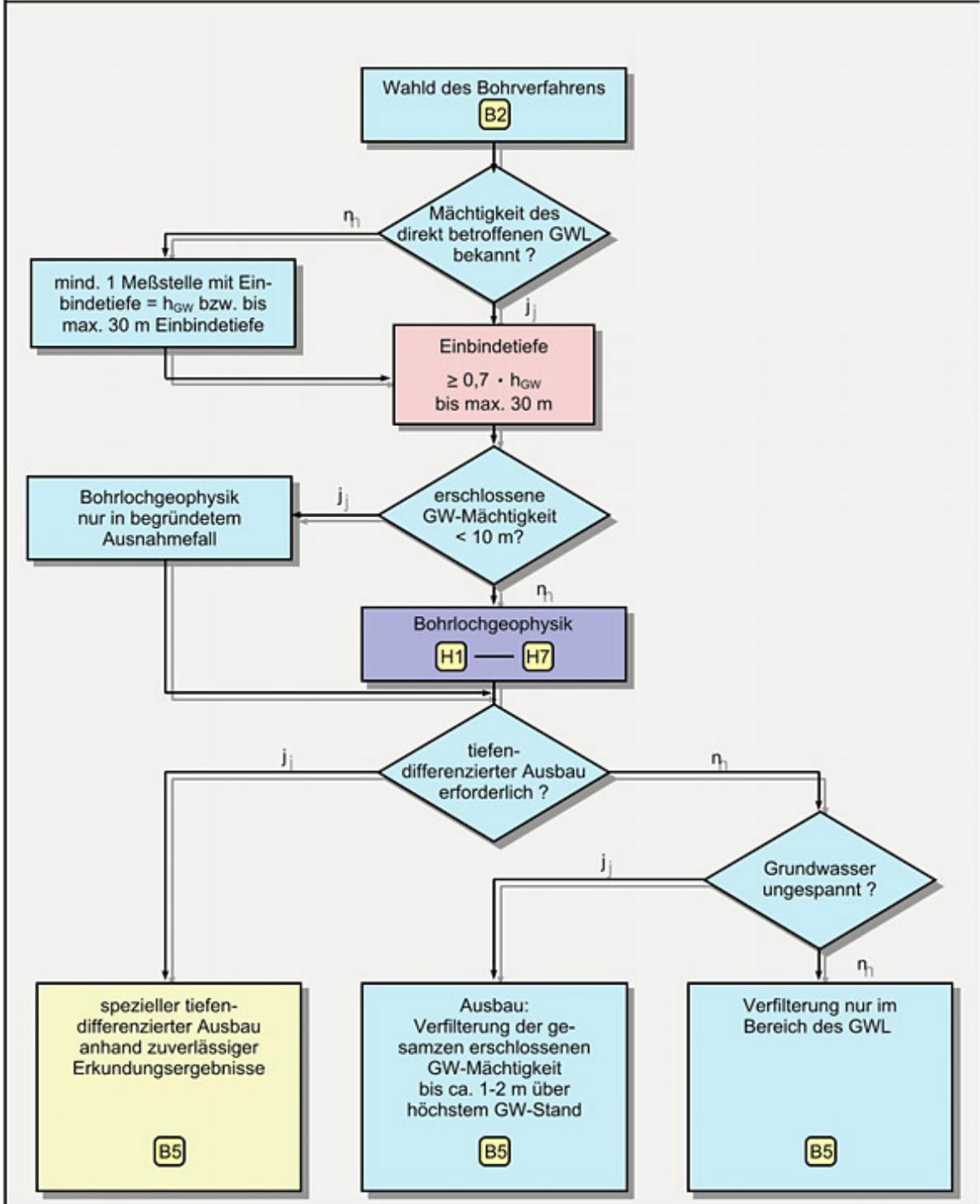


Abb. 8a: Vorgehensweise bei Meßstellenbau und Festlegung von bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen - Standard

Meßstellenbau/Bohrlochgeophysik		
Alternative		
Einzelfallspezifische Besonderheit	Abweichung/Alternative zum Standard	Methodenbeschreibung
Schadstoffe in Phase	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Änderung der Mindesteinbindetiefe</li> <li>- Dichte &gt;1 ( Einbindetiefe = <math>h_{GW}</math>)</li> <li>- Dichte &lt;1 ( Einbindetiefe = <math>0,5 \cdot h_{GW}</math>)</li> </ul>	-
GW-Nutzung	- Anpassung der Mindesteinbindetiefe an die GW-Fassung	-
Lage am Vorfluter bei aufsteigender GW-Strömung	- Reduzierung der Einbindetiefe möglich	-
schichtgebundene Grundwasserzuflüsse ins Bohrloch vermutet oder kleinräumige wirksame Zwischenschichten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bohrungsbegleitende Analytik</li> <li>- hydraulische Tests</li> <li>- zusätzliche bohrlochgeophysikalische Messungen</li> <li>- Fluid-Logging</li> </ul>	E2-E5 H1-H7 E7
Grundwasserleiter ausgeprägt homogen	- Messungen nur an ausgewählten Bohrungen	±
mehrere GW-Stockwerke sind zu erschließen	- getrennte Meßstellen je Stockwerk	B5

**Abb. 8b: Vorgehensweise bei Meßstellenbau und Festlegung von bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen - Alternative**

Liegen Schadstoffe in Phase vor, ist deren spezifisches Gewicht ausschlaggebend für die Mindesteinbindetiefe. Sie kann bei Schadstoffphasen spezifisch leichter als Wasser auf  $0,5 \cdot h_{GW}$  reduziert werden. Bei Schadstoffphasen spezifisch schwerer als Wasser ist die Mindesteinbindetiefe der Grundwassermächtigkeit gleichzusetzen.

Existieren Grundwasserfassungen im Abstrom, kann insbesondere bei mächtigen Grundwasserleitern eine Einbindetiefe der Grundwassermeßstelle bis zur maximalen Erfassungstiefe der vorhandenen Grundwassernutzung ausreichen.

Liegt ein Gefahren- bzw. Schadensherd in der Nähe eines Vorfluters, können aufsteigende Grundwasserströmungen auftreten. In diesem Fall kann die Mindesteinbindetiefe reduziert werden.

Werden schwebende Grundwasserkörper vermutet oder ist mit schichtgebundenen Grundwasserzuflüssen zu rechnen, können Bohrverfahren und Meßstellenausbau abweichend vom Standard festgelegt werden. Nur kleinräumig vorhandene, geringdurchlässige Zwischenhorizonte können unter Beachtung von Vorsichtsmaßnahmen durchbohrt werden, sofern keine Schadstoffe in Phase vorliegen. Die Festlegung des Ausbaues erfolgt anhand

- geologisch-lithologischer Aufnahme des Bohrprofils
- bohrungsbegleitender Analytik zur Identifikation von Schadstoffen
- zusätzlicher bohrlochgeophysikalischer Messungen beispielsweise zur Überprüfung von Vertikalströmungen (Methode H7)
- hydraulischer Tests zur Ermittlung der Ergiebigkeiten (Methode E2-E5).

Bei ausgeprägt homogenen Grundwasserleitern lassen sich die bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen auf ausgewählte Bohrungen beschränken.

Im Fall mehrerer betroffener Grundwasserstockwerke sind getrennte Bohrungen vorzusehen. Eine Verbindung natürlich getrennter Grundwasservorkommen durch Bohrungen ist unbedingt zu vermeiden.

Auf mehrere Meßstellen in einem gemeinsamen Bohrloch sollte aus Gründen der technischen Schwierigkeiten bei der einwandfreien Trennung einzelner Grundwasserstockwerke verzichtet werden.

### 3.3 Hydraulische Kennwerte

Zur Fortschreibung des Arbeitsmodelles und Ermittlung der Größen  $c$  und  $Q$  auf Beweisniveau BN 2 und Beweisniveau BN 3 sind die hydraulischen Kennwerte durch geeignete Tests und Versuche zu bestimmen.

Durch Versuche an mehreren Meßstellen kann eine Bandbreite der Werte für verschiedene Parameter (z. B. Transmissivität, Speicherkoeffizient) an einem Standort ermittelt werden.

Aufgrund ihrer Aussagekraft sind generell Pumpversuche (Methode E1) vorrangig vor anderen hydraulischen Tests durchzuführen. Ihre Erfassung ist mit dem Programm UHYDRO vorzunehmen, zu ihrer Auswertung kann für den Locker- und Festgesteinsbereich das Programm UP des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) benutzt werden.

- Hydraulischer Pumpversuch:  
Entnahme von Grundwasser über einen Zeitraum  $t_{PV}$  mit einer konstanten oder abgestuften Entnahmerate  $Q_{PV}$ . Ziel des Versuches ist die Ermittlung hydraulischer Parameter.
- Pumpversuch zur Probenahme:  
Entnahme von Grundwasser mit einer Entnahmerate  $Q_{PV}$ , so daß nach einem Zeitraum  $t_{PV}$ , Wasser aus der Entfernung  $a/2$  die Meßstelle erreicht hat. Ziel dieses Versuches ist die Entnahme von Grundwasserproben, die für eine Abstrombreite  $a$  kennzeichnend sind.

Geeignete Ergiebigkeiten zur Durchführung von hydraulischen Pumpversuchen bestehen ab ca. 0,1 l/s.

Ist die Durchführung eines Pumpversuches aus Gründen der zu geringen Grundwasserführung nicht sinnvoll, können hydraulische Kennwerte anhand anderer hydraulischer Tests (Methode E2-E9) für die unmittelbare Bohrlochumgebung ermittelt werden. Abbildung 9 dient als Entscheidungshilfe zur Auswahl eines geeigneten hydraulischen Tests.

		Methode	k <sub>f</sub> -Wert (m/s)																
			10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>							
Lockergesteins- eigenschaften- überwiegen	Pumpversuche	E1				■	■	■											
	Markierungsversuche	E9			■	■	■												
	Einschwingverfahren	E6					■	■											
	Drill-Stem-Test	E4	■							■	■								
	Slug-Test	E2	■								■	■							
	WD-Test	E5																	
	Pulse-Test	E3	■																
	Fluid-Logging	E7																	
Festgesteins- eigenschaften- überwiegen	Pumpversuche	E1				■	■	■											
	Markierungsversuche	E9			■	■	■												
	Einschwingverfahren	E6					■	■											
	WD-Test	E5																	
	Slug-Test	E2	■								■	■							
	Fluid-Logging	E7																	
	Drill-Stem-Test	E4	■								■	■							

**Abb. 9: Eignung von Borhlochtests für verschiedene Durchlässigkeitsbeiwerte (verändert und ergänzt nach LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTEMBERG, 1991; S. 18ff)**

Sind Grundwasserverunreinigungen vorhanden, kann eine Entsorgung oder Abreinigung des geförderten Grundwassers notwendig werden. Trifft dies zu, entscheidet eine Kosten-/Nutzenabwägung, ob Pumpversuche oder sonstige hydraulische Tests durchgeführt werden können.

Zu einzelnen Handlungsanweisungen im Standard (Abb. 10a) können für bestimmte einzelfallspezifische Besonderheiten Alternativen (nach Abb. 10b) angewendet werden.

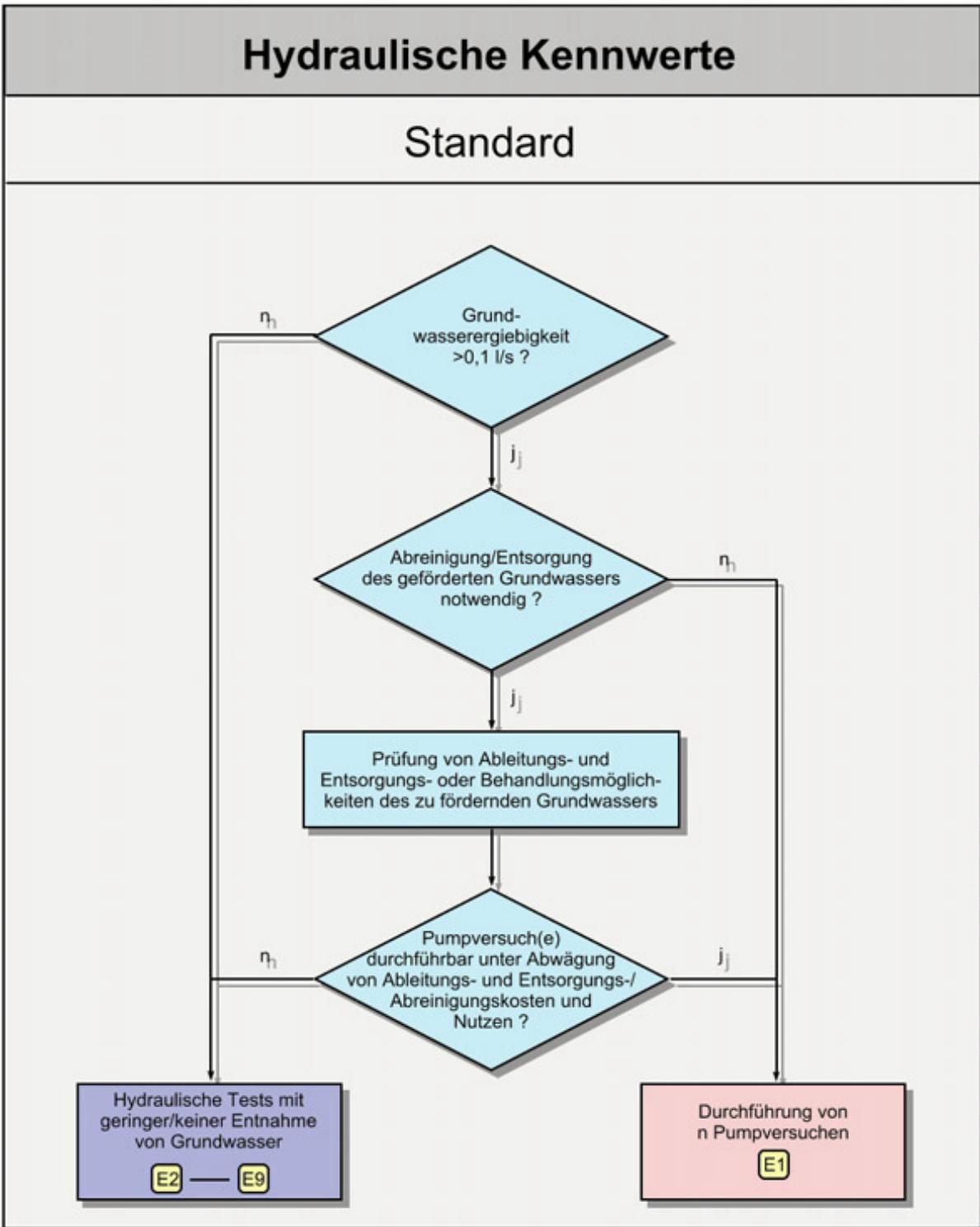


Abb. 10a: Vorgehensweise zur Bestimmung der hydraulischen Kennwerte - Standard

Hydraulische Kennwerte		
Alternative		
Einzelfallspezifische Besonderheit	Abweichung/Alternative zum Standard	Methodenbeschreibung
hydraulische Wirksamkeit einer Stockwerkstrennung ist zu erkennen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pumpversuche mit Beobachtung aller Stockwerke</li> <li>- Markierungsversuch</li> </ul>	E1 E9
vertikale Kennwertverteilung ist zu erkennen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hydraulische Tests an Bohrlochabschnitten</li> </ul>	E2 - E5
Grundwasserleiter ausgeprägt homogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorgehensweise nach Standard nur an ausgewählten Meßstellen</li> <li>- hydraulische Tests</li> </ul>	E2 - E5
sehr gute Datengrundlage vorhanden (z. B. hydrogeologische Karte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verzicht auf hydraulische Tests und Pumpversuche in E<sub>1,2</sub></li> </ul>	-
weder Pumpversuche noch hydraulische Tests sind auswertbar	Laborversuche: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permeabilitätsversuch an ungestörten Proben</li> <li>- Korngrößenanalyse</li> </ul>	E11 E10

**Abb. 10b: Vorgehensweise zur Bestimmung der hydraulischen Kennwerte - Alternative**

Ausreichend lange Meßreihen an Quellen mit Erfassung ausgewählter hydrochemischer Parameter lassen Rückschlüsse auf die hydrogeologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet zu. Markierungsversuche eignen sich zur Ermittlung von Fließgeschwindigkeit und nutzbarem Hohlraumanteil. Zur Abschätzung können auch regionale Erfahrungswerte herangezogen werden.

In Bereichen sehr hoher Transmissivität können mit Pumpversuchen zur Auswertung ausreichende Absenkbeträge nur mit hohem technischen Aufwand erreicht werden. Trotzdem sind auch hier Pumpversuche als Methode zur Bestimmung hydraulischer Kennwerte heranzuziehen. Sie werden mit dem erforderlichen Aufwand allerdings nur an ausgewählten Meßstellen durchgeführt.

Ist eine Stockwerkstrennung nachgewiesen, muß die Bestimmung der hydraulischen Kennwerte für jedes Stockwerk getrennt erfolgen. Besteht die Möglichkeit einer hydraulischen Verbindung zwischen den Stockwerken, sind bei Pumpversuchen die Wasserstände aller durch Meßstellen erschlossenen Stockwerke mit zu beobachten. In Einzelfällen kann diese Frage auch durch einen Markierungsversuch unter Beobachtung der verschiedenen Stockwerke geklärt werden.

Sollte es notwendig sein, die vertikale Verteilung hydrogeologischer Kennwerte zu ermitteln, werden hydraulische Tests an einzelnen Bohrlochabschnitten durchgeführt (Abb. 9).

Bei homogenen Verhältnissen können hydraulische Tests mit geringer Reichweite die als Standard definierten Pumpversuche ersetzen bzw. werden Pumpversuche nur an ausgewählten Meßstellen durchgeführt.

Besteht aus vorangegangenen Erkundungen eine sehr gute Datengrundlage, kann in Einzelfällen auf hydraulische Versuche bei der Orientierenden Erkundung verzichtet werden. Dies kann zutreffen, wenn eine ausreichend detaillierte hydrogeologische Karte vom Standort vorliegt.

Ist bereits im Vorfeld der Versuche zu vermuten, daß die hydrogeologischen Verhältnisse am Standort eine sinnvolle Auswertung der in Frage kommenden hydraulischen Tests und

Pumpversuche nicht zulassen, kann bei Kernbohrungen im Lockergestein ersatzweise eine Laborbestimmung an ungestörten Proben vorgenommen werden (Methode E11) bzw. die Kornverteilung an gestörten Proben ermittelt werden (Methode E10).

## **3.4 Probenahme**

### **3.4.1 Probenahmegeräte**

Je nach Meßstelle und Art der Untersuchung muß die entsprechende Gerätetechnik ausgewählt werden. Eine detaillierte Beschreibung aller Probenahmegeräte mit Angabe von Herstellern ist den DVWK-Schriften Band 84 (1991) zu entnehmen. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Varianten mit Prinzip, Förderleistung und Einsatzbereich enthält Anlage 11.

Bei Pumpen ist zu beachten, daß jede Pumpe eine Erhöhung der Temperatur des geförderten Wassers bewirkt. Insbesondere wenn der Auslauf gedrosselt wird, wird dieser Effekt verstärkt. Bei trübem Förderwasser sollte der Förderstrom möglichst konstant gehalten werden, um eine klare Probe zu erhalten.

Idealerweise sollte eine Pumpe zur Grundwasserprobenahme robust sein und aus inertem Material (z. B. Edelstahl) bestehen. Weiterhin sollte sie auch in 50 mm Rohre passen, mit einem 12 V-Gleichstrommotor ausgerüstet sein und einen möglichst hohen Staudruck erzeugen. Damit ist derzeit die Tauchmotorpumpe die beste Pumpentechnologie mit den meisten Einsatzmöglichkeiten. Auf die Verwendung von geeignetem Schlauchmaterial ist zu achten. Teflonrohre (PTFE) sind wegen des geringen Gewichts und der leichten Handhabung zu empfehlen. Bevor eine Pumpe in eine unbekannte Meßstelle eingebracht wird, ist zweckmäßigerweise vorher ein Probekörper in der Konfiguration der Pumpe einzulassen, um die Gangbarkeit des Rohres zu testen. Oft kann die Pumpentechnik eingelassen werden, aber aufgrund von Verdrehungen o. ä. nicht mehr ausgebracht werden. Auch Muffen von Steigrohren können sich an Unregelmäßigkeiten der Verrohrung in der Meßstelle verhaken.

### **3.4.2 Einfluß von Werkstoffen auf die Beschaffenheit einer Wasserprobe**

Ungeeignete Werkstoffe können die Probe nachhaltig beeinflussen und zu folgenden grundsätzlichen Problemen führen:

1. Sorption von Wasserinhaltsstoffen durch den Werkstoff.
2. Desorption von Wasserinhaltsstoffen aus dem Werkstoff oder Verschleppung von Wasserinhaltsstoffen.
3. Abgabe von Materialbestandteilen an die Wasserprobe.
4. Gasdiffusion durch den Werkstoff, insbesondere bei langen Schläuchen.
5. Kontamination der Probe durch Kühlmittel und/oder Öle der verwendeten Pumpen, Generatoren oder Kompressoren.
6. Verkleinerung der Probe durch Wachstum von Mikroorganismen in Schlauchmaterialien.

Im folgenden werden die gebräuchlichsten Werkstoffe aufgeführt und potentielle Probleme erläutert. Für weitergehende Information ist die Literaturstudie zur Beprobung von Grundwasser in Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1993) heranzuziehen, die auch eine Grundlage für dieses Kapitel darstellt.

## Kunststoffe

Folgende Kunststoffe werden zur Probenahme verwendet:

- Kautschukgummi (Polyisopren)
- Perbunan (Butadien-Acryl-Nitril-Copolymerisate)
- Polystyrol
- Polyethylen
- Silikon (Polydimethylsiloxan)
- Teflon-FEP (Tetrafluorethylenperfluorpropylen)
- Teflon-PTFE (Polytetrafluorethylen)
- Tygon (Polyvinylacetat-Derivat)
- Viton (Vinylidenfluorid-Hexafluorpropylen-Copolymerisat)
- PVC (Polyvinylchlorid)

**Sorption:** Die Sorptionswirkung der Kunststoffe ist von der Hydro- bzw. Lipophilie der Wasserinhaltsstoffe abhängig. Je größer die Lipophilie, desto größer ist die Sorptionswirkung. Bei Kunststoffen nimmt sie in folgender Reihenfolge ab:

Kautschuk > PVC weich > Silikon > PE weich > PE hart > PVC hart > Teflon

Damit sind die meisten Kunststoffe, außer PTFE und u. U. HDPE, für die Beprobung eines Großteiles der organischen Stoffe ungeeignet. Zur Sorption von CKW siehe Barcelona et al. (1985 und 1988), von Chloraminen, Tensiden, und nichtionischen Tensiden Janicke (1983), von Atrazin und Lindan Pestemer & Nordmeyer (1988) und Topp & Smith (1992).

**Desorption:** Desorption und Verschleppung ist insbesondere bei LHKW in Verbindung mit PVC-weich und Silikon von Bedeutung. Durch Verschleppung sind angebliche Grundwasserbelastungen mit Trichlormethan (2 µg/l) und Tetrachlorethen und Trichlorethen (bis ca. 0,5 µg/l) festgestellt worden (Dreher, 1991).

**Elution:** Spurenstoffe können durch verschiedene Additive in den Kunststoffmaterialien in die Grundwasserprobe eingeführt werden. Bei Schläuchen werden Weichmacher, die 15 – 50 % des gesamten Gewichtes flexibler Schläuche ausmachen können, Stabilisatoren, metallhaltige Pigmente, Gleitmittel, Füllstoffe und antistatische Ausrüstungsstoffe zugesetzt.

Von den Weichmachern werden insbesondere Phthalsäureester in Wasserproben nachgewiesen. Bei Markierungsversuchen mit Fluoreszenstracern sind viele Schlauchmaterialien ungeeignet, da sie fluoreszierende Inhaltsstoffe (optische Aufheller) enthalten.

**Gasdiffusion:** Gasdiffusion ist insbesondere bei Schlauchmaterialien zu berücksichtigen, wenn Tiefbrunnen beprobt werden. Dies kann nicht nur die gelöste Sauerstoffkonzentration beeinträchtigen, sondern auch Redoxpotential und redoxabhängige Inhaltsstoffe, wie z. B. Eisen-(II)- oder Stickstoffverbindungen. Bei einem 30,7 m langem Teflon (FEP)-Schlauch wurden bei einer Durchflußrate von 4 ml/min 3,32 mg/l Sauerstoffe eingetragen (Holm et al., 1988).

**Mikroorganismenwachstum:** Insbesondere Schläuche mit einem großen Anteil von Weichmachern dienen Mikroorganismen als Nährgrund. Die Schläuche müssen daher sorgfältig gereinigt und getrocknet werden. Um derartige Probleme zu verhindern, ist PTFE als Schlauchmaterial vorzuziehen.

## **Metalle**

Probleme ergeben sich zumeist bei den Pumpen (z. B. Kreiselpumpe), bei denen das gepumpte Grundwasser in Kontakt mit den Metallteilen steht. Hier sind hauptsächlich Probleme der Elution von Bedeutung, wobei Schwermetalle an das Probenwasser abgegeben werden. Daher ist bei Beprobung auf Schwermetalle vorzugsweise PTFE zu verwenden.

## **Glas**

Bei der Bestimmung von Bor, Borat, Natrium, Kalium, Fluorid und Silikat ist die Verwendung von Glas (Probenahmegefäß) zu vermeiden, da diese Elemente in Spuren aus dem Glas in das Wasser übergehen bzw. mit dem Glas reagieren. Zudem können Inhaltsstoffe an der Glaswand abgeschieden werden, weshalb z. B. bei der Schwermetallbestimmung angesäuert werden muß.

## **Sonstige Einflüsse**

Falls über undichte Pumpen Kühlmittel oder Öle in das Probenwasser geraten, ist neben der CKW-Belastung mit höheren Barium-, Cadmium- und Strontiumgehalten zu rechnen. Halteseile, Haltegestänge und Kabelzuführungen können ebenfalls Kontaminationen verursachen und sind entsprechend sauber zu halten.

## Empfehlung

Probenahmeschläuche sollten generell nicht aus Gummi, Silikon (DIN 38 402 Teil 13) oder Weich-PVC bestehen.

Für **anorganische Parameter** ist Teflon das Material der Wahl. Verschraubbare Teflonrohre können leicht gereinigt und getrocknet werden. Bei Verwendung von Schläuchen sollten diese nach Gebrauch mit Preßluft getrocknet werden. Bei der Beprobung von kontaminierten Meßstellen sind diese zuletzt zu beproben, um eine Verschleppung der Kontamination zu verhindern. Anschließend sind derart kontaminierte Schläuche gründlich mit Wasser zu spülen und eventuell durch eine Blindprobe zu prüfen.

Für **organische Parameter** ist hochlegierter Edelstahl am besten geeignet (vor allem für die Pumpenmaterialien), und PTFE als Schlauchmaterial.

Verwendete Materialien und Reinigungsmaßnahmen sind zu protokollieren, um eine eventuelle Verschleppung einer Kontamination oder andere Materialeinflüsse rekonstruieren zu können.

### 3.4.3 Durchführung der Probenahme

Eine erste Probenahme erfolgt in einer neu errichteten Grundwassermeßstelle nach deren Klarpumpen. Dadurch wird geklärt, inwieweit beim späteren Pumpversuch zur Probenahme anfallendes Wasser ohne Behandlung abgeleitet werden kann. Gleichzeitig ergibt sich dabei auch die mögliche Entnahmerate für die nachfolgenden Pumpversuche.

Ist eine Grundwasserentnahme mit einer Förderrate von mehr als 0,1 l/s möglich, werden in den Meßstellen Pumpversuche zur Probenahme (Methode E1) durchgeführt. Dabei sind die Parameter QPV, tPV, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und Sauerstoffkonzentration zu protokollieren.

Sofern an diesen Meßstellen nach Kapitel 3.3 ein hydraulischer Pumpversuch erforderlich ist, sollte die Probenahme damit verbunden sein. Die Probenahme findet dann statt, wenn die erforderliche Abstrombreite  $a$  erreicht ist. Weitere Probenahmen während der Pumpphase liefern zusätzliche Informationen.

Werden die Prüfwerte in allen Grundwassermeßstellen unterschritten, ist das Untersuchungsergebnis für 20 % bzw. 50 % der Grundwasser-Querschnittsfläche AA nachzuweisen. Dies wird erreicht, wenn durch die Kombination von Auslegung der Meßstellenanzahl, Entnahmerate und der Pumpdauer vor Probenahme eine Abstrombreite von 20 % bzw. 50 % von BA erfaßt wird.

Um die Anzahl erforderlicher Probenahmeterminale festzulegen, sind verschiedene Faktoren zu berücksichtigen.

- wechselnde Fließverhältnisse
- schwankende Grundwasserstände
- zeitlich und örtlich ungleichmäßiger Schadstoffaustrag und Schadstofftransport

Einzelfallspezifisch muß abgewogen werden, ob einer oder mehrere Probenahmeterminale erforderlich sind. Für jeden Probenahmetermin ist die Erfüllung des 20 %/50 %-Kriteriums nachzuweisen.

Bei Grundwasserentnahmeraten von  $<0,1$  l/s ist die Durchführung von Pumpversuchen zur Probenahme nicht möglich. Hier ist die Pumpdauer zur Entnahme von Proben den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen. In Extremfällen (tiefe Meßstelle, tiefer Wasserstand) können auch Schöpfproben genommen werden.

Bei einem Pumpversuch zur Probenahme tragen alle angeregten Zuflüsse zur Förderrate bei. Dadurch ergeben sich tiefengemittelte Proben (Methode C1).

Die vertikale Schadstoffverteilung sollte beispielsweise dann erfaßt werden, wenn eine horizontierte Nutzung des Grundwassers im Abstrom des Gefahren- bzw. Schadensherdes durch einen flachen Gartenbrunnen vorliegt. In solchen Fällen ist eine horizontierte Probenahme (Methode C2) erforderlich.

Zu einzelnen Handlungsanweisungen im Standard (Abb. 11a) können für bestimmte einzelfallspezifische Besonderheiten Alternativen (Abb. 11b) angewendet werden.

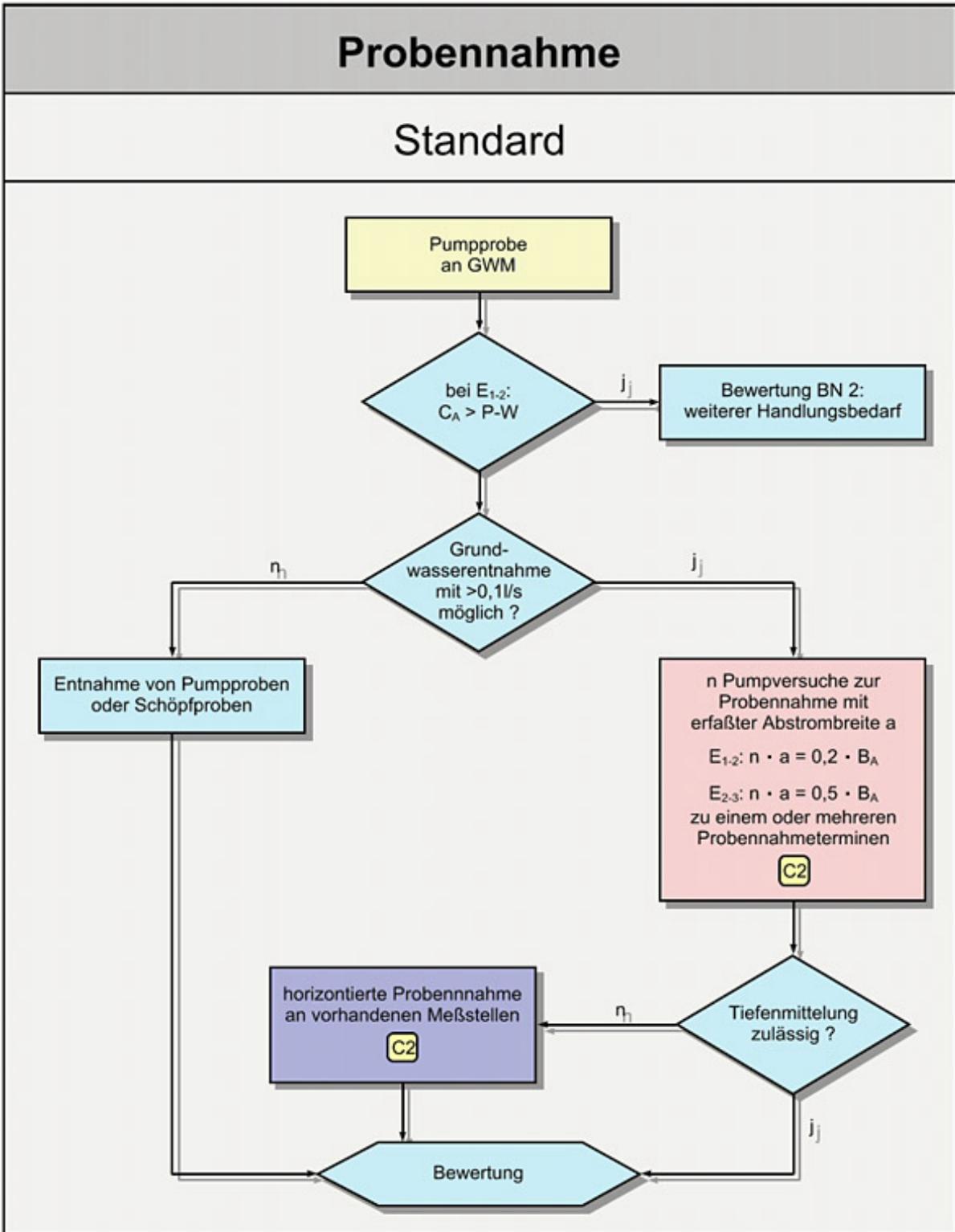


Abb. 11a: Vorgehensweise zur Probenahme - Standard

Probenahme		
Alternative		
Einzelfallspezifische Besonderheit	Abweichung/Alternative zum Standard	Methodenbeschreibung
Probenahmemöglichkeiten im Abstrom des Standorts vorhanden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beprobung von Brunnen (Betriebsbrunnen, Trinkwasserbrunnen)</li> <li>- Beprobung von Quellen</li> <li>- Langzeitbeobachtung an Quellen</li> </ul>	D2
hydraulischer Anschluß der Meßstelle sehr gut (>5-10 l/s)	- Pumpprobe nach 2-5maligem Austausch der Wassersäule in der Meßstelle	C1
Pumpversuche verursachen hohe Entsorgungskosten	- Pumpprobe nach 2-5maligem Austausch der Wassersäule in der Meßstelle	C1
Lage am Vorfluter: durch Pumpversuch entstehen influente Verhältnisse	- Pumpprobe nach 2-5maligem Austausch der Wassersäule in der Meßstelle	C1
Mächtiger Grundwasserraum >30 m: $C_A > P$ bei Wasserzutritt im unteren Bereich der Meßstelle	- Bau einer vollkommenen Meßstelle und horizontierte Probenahme	B5, C2

**Abb. 11b: Vorgehensweise zur Probenahme - Alternative**

Vorhandene Quellen und Brunnen im Abstrom eignen sich als Grundwasseraufschlüsse zur Probenahme. Meßreihen hydrochemischer Parameter in Verbindung mit Abfußmessungen (Methode D2) können Hinweise für die Emissionsermittlung geben.

Bei sehr großen Entnahmeraten (>5-10 l/s), können Probleme bei der Ableitung des geförderten Wassers auftreten. Auch gelingt es in solchen Fällen zumeist nicht, mit vertretbarem Aufwand ausreichend große Abstrombreiten zu erfassen. Unter diesen Umständen kann auch auf Pumpproben (Methode C1) nach 2-5maligem Austausch der Wassersäule in den Meßstellen zurückgegriffen werden. Bei einer derartigen Probenahme muß die Meßwertkonstanz der Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und Sauerstoffkonzentration erreicht werden.

Die Durchführbarkeit eines Pumpversuches zur Probenahme hängt neben dem technischen Aufwand auch von der Art des Schadstoffes und von eventuell hohen Schadstoffkonzentrationen ab. Analog Kapitel 3.3 (S. 34) muß geprüft

werden, ob ein Pumpversuch mit eventueller Abreinigung oder Sammlung des geförderten Wassers durchgeführt werden kann.

Bei Gefahren- bzw. Schadensherden nahe am Vorfluter können durch Pumpversuche influente Verhältnisse entstehen. Um dies zu vermeiden, können anstelle eines Pumpversuches zur Probenahme Wasserproben nach 2-5maligem Austausch der Wassersäule in der Meßstelle genommen werden.

Wenn Verdacht auf absinkende Schadstoffe besteht, ist bei mächtigem Grundwasserraum die vertikale Schadstoffverteilung zu erfassen. In diesen Fällen kann zusätzlich zum Pumpversuch auf eine horizontierte Probenahme nicht verzichtet werden. Ergibt sich dabei für den untersten Wasserzutritt  $c_A > P - W$ , wird der Bau einer vollkommenen Meßstelle erforderlich.

## 3.5 Probenbehandlung

### 3.5.1 Probengefäße und Prüfparameter

Auch für Grundwasser gelten die allgemeinen Bemerkungen in den Kapiteln 2.4.1.1 und 2.4.1.2.

#### 3.5.1.1 Arten von Probengefäßen

Für Wasserproben werden die Gefäßtypen 10-17 empfohlen (Anlage 4). Aus der Tabelle 11 ist die Zuordnung der Gefäßtypen in Abhängigkeit von den Prüfparametern ersichtlich.

**Tabelle 11: Zuordnung Prüfparameter - Probengefäß für Matrix Grund- und Oberflächenwasser**

	Matrix Wasser
Gefäßtyp 9	Außer Al, alle anorganischen und organischen Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten.
Gefäßtyp 10	Außer Al, alle anorganischen und organischen Parameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten sowie Summenparameter, sofern keine Probenveränderung durch diesen Glastyp möglich ist.
Gefäßtyp 11	Außer Al, alle anorganischen und organischen Parameter.
Gefäßtyp 12	Alle anorganischen Parameter und Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten sowie AOX.
Gefäßtyp 13	Alle anorganischen Parameter und Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten sowie AOX.
Gefäßtyp 14	Alle anorganischen Parameter und Summenparameter, außer flüchtige anorganische und organische Komponenten.
Gefäßtyp 15	Alle anorganischen und organischen Parameter sowie Summenparameter. Dieser Gefäßtyp ist speziell zur Bestimmung flüchtiger meist organischer Komponenten, im Sinne einer direkten gaschromatographischen Headspace-Analyse geeignet.
Gefäßtyp 16	Für Anreicherungen von meist organischer Komponenten aus der Wasserprobe.

#### 3.5.1.2 Reinigung und Konditionierung der Probengefäße

Siehe Kapitel 2.4.1.3.

#### 3.5.1.3 Beschriftung der Probengefäße

Analog Kapitel 2.4.1.4.

### 3.5.2 Probenkonservierung

Die allgemeinen Grundlagen sind dem Kapitel 2.4.2.1 zu entnehmen.

#### 3.5.2.1 Konservierung durch Zugabe von Chemikalien

Die chemische Konservierung ist mit dem jeweiligen Labor abzusprechen. Wurde bereits von dem analysierenden Labor das Konservierungsmittel vorgelegt, so ist beim Abfüllen der Probe darauf zu achten, daß der Probenahmeschlauch keinen Kontakt mit dem

Konservierungsmittel bekommt. Vor dem vollständigen Befüllen ist das geschlossene Gefäß vorsichtig zu schütteln, um das Konservierungsmittel gleichmäßig über die Wasserprobe zu verteilen.

Beim Umgang mit Konservierungsmitteln gelten folgende Grundsätze:

- Möglichst nur umweltfreundliche Produkte verwenden.
- Gefäße mit Konservierungsmitteln haltbar beschriftet und nicht anderweitig verwenden.
- Verschleppung von Konservierungsmittel in andere Proben sicher ausschließen.

Die für die nachstehenden Parameter in Anlage 12 angegebenen Konservierungsmethoden sind den entsprechenden genormten Analysenverfahren entnommen.

AOX	Phenolindex
Chlorcyan	Quecksilber
Chrom (VI)	Sauerstoff, gelöst
Cyanid, gesamt	Sulfid, gelöst
Cyanid, leicht freisetzbar	Sulfid, leicht freisetzbar

### 3.5.2.2 Konservierung durch Einstellung des pH-Wertes

Für die nachstehenden Parameter sind in Anlage 12 Konservierungsmethoden durch Einstellung des pH-Wertes der Wasserproben gemäß Normvorschriften angegeben.

Aluminium	Kalium
Ammonium	Kjeldahl-Stickstoff
Arsen	Kupfer
Bismut	Mangan
Blei	Natrium
Cadmium	Nickel
chemischer Sauerstoffbedarf	Permanganat-Index
Chrom	Silber
Cobalt	Thallium
Eisen	Zink

### 3.5.2.3 Konservierung durch Kühlung der Proben

Sämtliche Grund- und Oberflächenwasserproben, für die aufgrund der zu bestimmenden Prüfparameter keine Vorschriften zur pH-Einstellung der chemischen Konservierung existieren, müssen in Kühlzellen bei 4 °C gelagert werden (s. Anlage 12). Dies gilt im besonderen auch für die Proben, in denen organische Komponenten zu bestimmen sind. Speziell bei Anwesenheit flüchtiger Komponenten in den Proben, wie LHKW, BTEX-Aromaten etc. ist durch die Anwendung gasdichter Probengefäße eine Sekundärkontamination der Kühlzellen, durch evtl. ausgasende Verbindungen, zu vermeiden. Auf die möglicherweise in den Proben auch bei 4 °C ablaufenden

mikrobiologischen Reaktionen, mit der möglichen Konsequenz einer Veränderung der Probenmatrix, wurde bereits hingewiesen.

Das Einfrieren von Wasserproben auf -20 °C ist nur möglich, wenn sich die Proben in Kunststoff-Gefäßen befinden. Auf die Problematik der Entmischung der Wasserproben beim Auftauen von -20 °C auf Zimmertemperatur wurde ebenfalls hingewiesen.

Adsorber-Röhrchen zur Anreicherung von gelösten Komponenten aus Wasserproben müssen dunkel in Kühlzellen bei 4 °C gelagert werden. Auf die Dichtigkeit der eingelagerten Röhrchen ist zu achten.

### **3.5.3 Probentransport**

Siehe Kapitel 2.4.4.

### **3.5.4 Probenlagerung**

Siehe Kapitel 2.4.5.

## **3.6 Messungen vor Ort**

Vor-Ort-Messungen sind sowohl Bestandteil des Abpumpens vor der Probenahme als auch generell für die Parameter notwendig, die sich beim Transport verändern. Dazu zählen Temperatur, Sauerstoffgehalt und Redoxpotential, aber auch pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit. Vor Ort werden außerdem die organoleptischen Parameter Färbung, Trübung, Geruch und Bodensatz qualitativ beurteilt.

Bei den quantitativen Messungen vor Ort ist zu beachten, daß ein hinreichend großes Gefäß verwendet wird (500-1000 ml) und daß Meßwerte erst nach hinreichend langer Einstellzeit abgelesen werden. Vorzugsweise sollten die Meßwerte mittels Tiefensonden unmittelbar unterhalb des Probenahmegerätes aufgenommen werden. Geeignet ist aber auch eine Durchlaufzelle unmittelbar an der Meßstelle, in die das geförderte Grundwasser blasenfrei eingeleitet wird, und die Meßsonden eingehängt werden. Zu beachten ist jedoch, daß pH-Wert und Redoxpotential nur bei ausgeschalteter Leitfähigkeitssonde gemessen werden. Insbesondere sind auch die Geräte mindestens vor jedem Einsatztag erforderlichenfalls vor der Messung laut Hersteller neu zu kalibrieren. Besonderheiten, die bei der Durchführung der quantitativen Feldmessungen zu beachten sind, sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

**Tabelle 12: Vor Ort quantitativ zu messende Parameter**

Parameter	Meßgerät	Bemerkungen
Lufttemperatur	Thermometer	im Schatten zu messen
Wassertemperatur	Thermometer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in auf Grundwassertemperatur temperierten Meßgefäß messen, vor direkter Sonneneinstrahlung schützen</li> <li>- bei langen Förderschläuchen (&gt;5 m) und geringer Förderleistung an der Meßstelle selbst in der Entnahmetiefe mittels Temperaturlot messen (Problem des Temperaturausgleichs mit der Umgebung)</li> <li>- auf 0,1 °C runden</li> </ul>
pH-Wert	pH-Elektrode	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jeden Einsatztag neu kalibrieren mit zwei Kalibrierpuffern im Bereich des zu erwartenden pH-Wertes</li> <li>- Kalibrierpuffer auf Pilzwachstum überprüfen, gegebenenfalls Kalibrierung mit einem dritten Puffer überprüfen</li> <li>- bei CO<sub>2</sub> übersättigten Wasser u. U. an der Meßstelle (Entnahmetiefe) messen</li> <li>- auf eine Stelle nach dem Komma angeben</li> </ul>
elektr. Leitfähigkeit	Leitfähigkeitsgerät	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Art der Temperaturkompensation angeben (Rechnung/Meßgerät)</li> <li>- Ergebnis bei Referenztemperatur 25 °C angeben</li> </ul>
gelöster Sauerstoff	Sauerstoffsonde	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonde nach Angaben des Herstellers kalibrieren</li> <li>- bei konstanter, nicht turbulenter Anströmung messen, um Sauerstoffeintrag oder -austrag über die freie Atmosphäre zu vermeiden</li> <li>- bei langen Förderschläuchen (&gt;5 m) an der Meßstelle selbst in der Entnahmetiefe mittels Tiefenelektrode messen (Problem der Gasdiffusion durch das Schlauchmaterial)</li> </ul>

### 3.7 Protokoll zum Abpumpen vor der Probenahme

Zu jedem Gütepumpversuch ist ein Protokoll gemäß Anlage 13 anzufertigen.

### 3.8 Protokoll über die Entnahme einer Grundwasserprobe

Jede Grundwasserbeprobung ist gemäß Anlage 14 zu protokollieren.

### 3.9 Literatur

- /1/ Barcelona, M. J.; Helfrich, J. A. & Garske, E. E. (1985): Sampling tubing effects on groundwater samples. - Anal. Chem. 1985, 57, S. 460-464 und 2752.
- /2/ Barcelona, M. J.; Helfrich, J. A. & Garske, E. E. (1988): Verification of sampling methods and selection of materials for groundwater contamination studies. - ASTM Spec. Tech. Publ., 963 (Groundwater Contamination) S. 221-231.
- /3/ Bear, J. & Jacobs, M. (1995): Leitfaden für die Beurteilung von Grundwasserunreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe. - Ministerium für Ernährung und Forsten Baden-Württemberg, Reihe Wasserwirtschaftsverwaltung, Heft 13, Stuttgart.
- /4/ Dreher, T. (1991): LCKW in Grundwasserproben. Verschleppungen durch die Probenahme. - Geol. Jb. Hessen, 119, S. 177-189, Wiesbaden.
- /5/ DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1991): Grundwasser - Redoxpotentialmessung und Probenahmegeräte. - DVWK-Schriften Band 84, Hamburg.
- /6/ DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1996): Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermeßstellen. - DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Gelbdruck 1997, Hamburg.
- /7/ Holm, T. R.; Gregory, K. G. & Barcelona, M. J. (1988): Oxygen transfer through flexible tubing and effects on groundwater sampling results. - Groundwater Monitoring Revue, 8 (3), S. 83-89.

- /8/ Janicke, W. (1983): Sorptionswirkung von Kunststoffen auf organische Wasserinhaltsstoffe. - Z. Wasser-Abwasser-Forsch. 17, S. 7-11.
- /9/ Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1991): Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit. - Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 8, Karlsruhe.
- /10/ Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1993): Grundwasserüberwachungsprogramm. Beprobung von Grundwasser – Literaturstudie. - Karlsruhe.
- /11/ Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1996): Leitfaden Erkundungsstrategie Grundwasser. - Karlsruhe.
- /12/ Langguth, H.-R. & Voigt, R. (1980): Hydrogeologische Methoden. - Berlin.
- /13/ Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg (1976): Arbeitsblatt Pumpversuche im Porengrundwasserleiter. - Reihe Wasserwirtschaftsverwaltung, Stuttgart.
- /14/ Pestemer, W. & Nordmayer, H. (1988): Sorption von ausgewählten Pflanzenschutzmitteln an unterschiedlichen Schlauchmaterialien. - Zentralblatt für Bakteriologie,
- /15/ Mikrobiologie und Hygiene, B., 186, S. 375-379. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (1997): Merkblatt Grundwasserprobenahme in Sachsen. - Radebeul.
- Scholz, B. (1996): Probenbehandlung. - Landesamt für
- /16/ Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz (Entwurf).
- Topp, E. & Smith, W. (1992): Sorption of the herbicides atrazine and metachlor to selected plastics and silicone rubber. - J. Env. Qual. 21, S. 316-317.

# 4 Bodenluft

## 4.1 Grundsätzliches

### 4.1.1 Definition

Als Bodenluftproben werden alle gasförmigen Proben bezeichnet, die aus dem Porenraum des Bodens unterhalb von 1 m Geländeoberkante und oberhalb 1 m des Grundwasserspiegels entnommen werden.

### 4.1.2 Zielstellung und Grenzen der Bodenluftmessung

Bodenluftentnahmen zur Altlastenerkundung werden durchgeführt, um leichtflüchtige organische Stoffe im Porenraum von Böden zu bestimmen. Es handelt sich vorwiegend um solche Stoffe, die bei Raumtemperatur flüssig sind, deren Siedepunkt in der Regel unter 180 °C liegt und die eine relativ geringe Löslichkeit in Wasser aufweisen. Hierzu gehören als altlastenrelevante Schadstoffe besonders die Substanzen aus der Stoffgruppe der

- leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen der Methan-, Ethan- und Ethenreihe (LHKW),
- einkernigen, alkylierten aromatischen Kohlenwasserstoffe von Benzol bis C3-Benzole (BTEX),
- andere niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe.

Mit den beschriebenen Probenahmemethoden können auch weniger flüchtige Substanzen, z. B. Naphthalin, erfaßt werden, wenn diese in größeren Konzentrationen vorliegen.

Leichtflüchtige Schadstoffe können von oben durch Versickerung aus Altlasten oder durch Schadensfälle in den Boden gelangen oder aus belastetem Grundwasser in den Porenraum aufsteigen.

Die Ziele der Bodenluftuntersuchungen sind:

- Ermittlung der Art des Schadstoffes und die Größenordnung seiner Konzentration,
- Lokalisierung des Schadenszentrums,
- Übersicht über die horizontale und vertikale Ausbreitung des Schadstoffes in der ungesättigten Bodenzone,
- Kartierung von Schadstofffahnen bei Grundwasserverunreinigungen,
- begleitende Messungen bei Sanierungsmaßnahmen.

Quantitative Aussagen über die Gehalte leichtflüchtiger Stoffe im Boden oder Grundwasser können anhand von ermittelten Bodenluftkonzentrationen nur bedingt getroffen werden, da die Verteilung der Stoffe im Dreiphasensystem Boden/Bodenluft/Bodenwasser bzw. Grundwasser erheblich von bodenphysikalischen Kenngrößen wie Wassergehalt, Porenform und -größe und von meteorologischen Bedingungen beeinflusst wird. Unter genau definierten

Bedingungen ist eine Berechnung der Poren- bzw. Sickerwasserkonzentration aus der Bodenluft möglich (Grathwohl & Reisinger, 1995).

Die Verfahren zur Bodenluftuntersuchung sind Konventionsverfahren, die vergleichbare Ergebnisse nur bei vergleichbaren Probenahme- und Meßbedingungen liefern.

## **4.2 Probenahmestrategie**

### **4.2.1 Allgemeines**

Die Strategie der Entnahme von Bodenluftproben richtet sich unter Beachtung der vorgenannten Möglichkeiten und Grenzen nach den konkreten örtlichen Verhältnissen des Einzelfalls. Neben den Ergebnissen der Historischen Erkundung zu Art und vermutlichen Eintragungsschwerpunkten der Schadstoffe werden folgende Angaben benötigt:

- Hydrologische Situation
  - Grundwasserstand, Grundwasserstockwerke
  - Fließrichtung
  - Abstandsgeschwindigkeit
  - Kapillare Aufstiegsrate
- Bodenprofil
- Lage von
  - Ver- und Entsorgungsleitungen
  - Lagerbehälter im Untergrund

Die Probenahmetiefe richtet sich nach dem Bodenaufbau und dem Grundwasserflurabstand und liegt im allgemeinen zwischen 1 und 4 m unter Geländeoberkante. Sie sollte bei konstantem Schichtaufbau immer aus derselben Tiefe erfolgen.

Sind in der ungesättigten Zone sperrende Schichten eingelagert (z. B. Tone, Schluffe, Lehme), so ist bei der Erkundung einer Grundwasserbelastung die Probenahme aus dem Horizont zwischen Grundwasserspiegel und der Sperrschicht durchzuführen. Bei einem Schadstoffeintrag von oben ist die Probenahme über und gegebenenfalls unter dem Sperrhorizont vorzunehmen. Auch eine direkte Entnahme von Bodenproben mit anschließender Analyse des Gehaltes ist in diesem Fall sinnvoll. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß bei einem Durchteufen des Sperrhorizontes für die Probenahme gerade hierdurch Stoffe unter den Sperrhorizont geraten können, wenn unmittelbar darüber ein Schadstoffeintrag vorliegt. Der Sperrhorizont ist möglichst nur dann zu durchteufen, wenn dadurch keine zusätzliche Wegsamkeit entsteht oder wenn wegen einer benötigten Zusatzinformation ein Durchteufen nicht zu vermeiden ist. Das Risiko muß im Einzelfall abgewogen werden.

Der Abstand der Meßpunkte ist von der gegebenen Situation, u. a. vom Grundwasserflurabstand, der Entfernung vom mutmaßlichen Schadensherd abhängig und demnach stets neu festzulegen. Für Rastermessungen sind in der Regel 10 bis 50 m festzulegen.

Um die Interpretation der Meßergebnisse zu vereinfachen, ist es sinnvoll, die allgemeine Grundbelastung in der Umgebung des zu untersuchenden Geländes zu ermitteln. Eine Grundbelastung kann schon allein durch atmosphärischen Eintrag verursacht sein, der von Standort, Klimafaktoren usw. abhängig ist. Für die Ermittlung der Grundbelastung kann es sinnvoll sein, von der zu untersuchenden Fläche ausgehend das Meßraster auf vermutlich unbelastete Gebiete auszuweiten. Auf jeden Fall sollte für die Ermittlung der Grundbelastung eine Örtlichkeit gewählt werden, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der zu untersuchenden Problematik steht (z. B. Grundwasserstrom).

#### **4.2.2 Meßraster auf unbekanntem Gelände**

Um ein unbekanntes Gelände auf das Eindringen leichtflüchtiger Schadstoffe und auf eine Grundwasserbelastung zu untersuchen, ist das Erstellen eines Meßrasters erforderlich. Für die vorläufige Festlegung des Rasterabstandes sind zahlreiche Zusatzinformationen heranzuziehen. Hierzu gehören vor allem die Geländegröße, die Bodendurchlässigkeit und die vorherige Nutzung. Ein Rasterabstand von 50 m sollte nicht überschritten werden. Als Richtwert hat sich ein Abstand von ca. 20 m bewährt. In diesem Grundraster sollte die Probenahme, um sie möglichst störungsfrei zu gestalten, im Tiefenbereich zwischen 2 und 4 m erfolgen. Nach Vorliegen der ersten Ergebnisse ist der Rasterabstand zu überprüfen und gegebenenfalls örtlich zu verringern (s. Abb. 12).

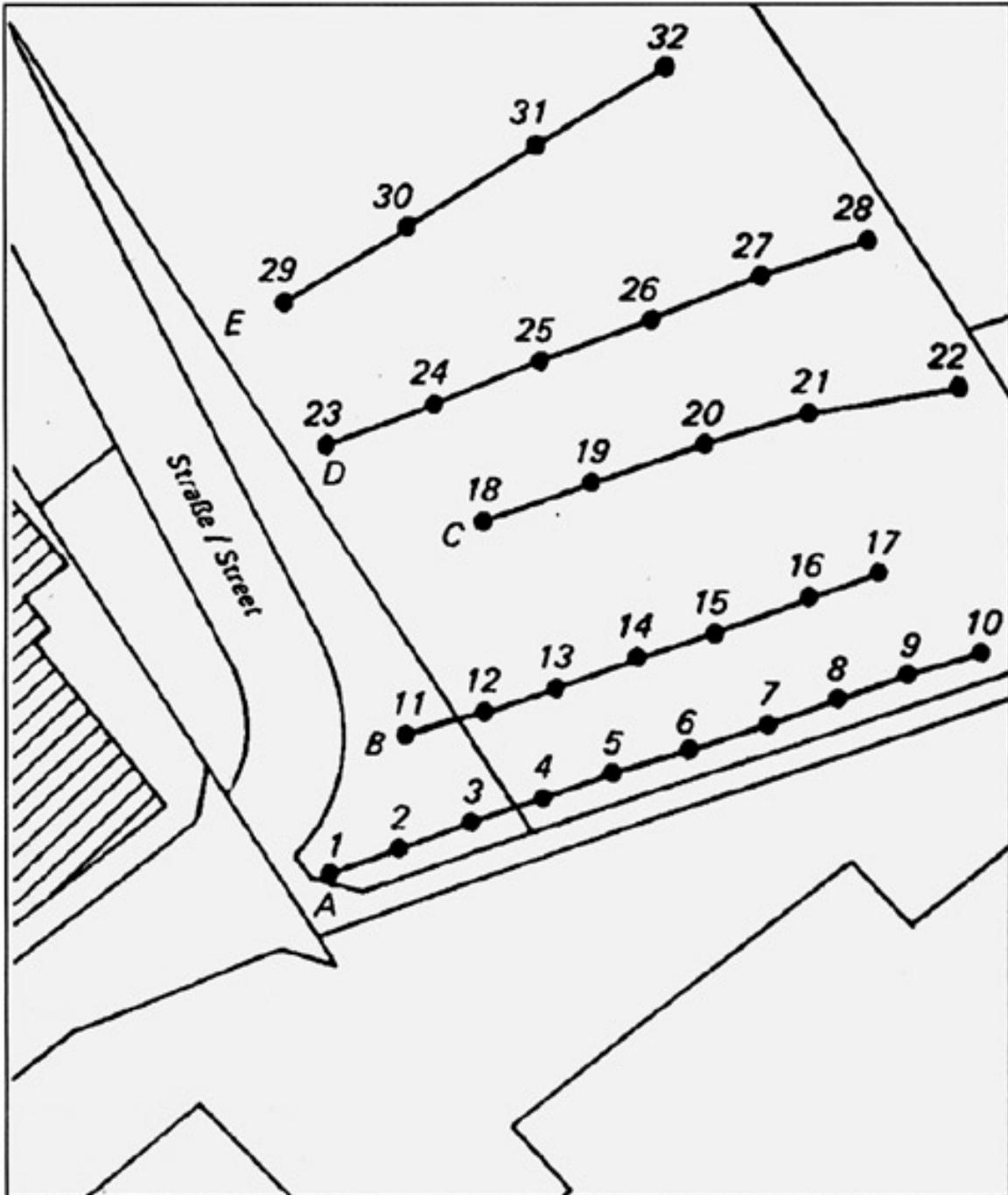


Abb. 12: Beispiel eines Meßrasters auf unbekanntem Gelände (nach VDI 3865)

### 4.2.3 Punktuelle Bodenluftbeprobung

Punktuelle Bodenluftmessungen können bei entsprechendem Verdacht dort eingesetzt werden, wo an konkreten Standorten leichtflüchtige Schadstoffe benutzt, gelagert oder umgeschlagen wurden. Die Meßergebnisse zeigen direkt an, ob eine Beeinträchtigung des Erdreichs oder des Grundwassers vorliegt. Das rasche Erkennen eines Schadens ist durch den Einsatz von punktuellen Bodenluftuntersuchungen an besonders gefährdeten Bereichen

sinnvoll. Sollte ein Schaden aus dem Meßergebnis gefolgert werden, lösen weitergehende Untersuchungen gemäß der Sächsischen Altlastenmethodik die Bodenluftmessungen ab.

#### 4.2.4 Ermittlung einer Schadstofffahne im Abstrom

Ist zu prüfen, wie weit sich ein Grundwasserschaden durch leichtflüchtige Schadstoffe im Abstrom ausgebreitet hat, so sind quer zur Grundwasserfließrichtung, die vorab zu ermitteln ist, im Abstand von i. d. Regel 10 bis 25 m Meßpunkte für ein Profil zu erstellen. Parallel hierzu sind weitere Meßachsen notwendig, solange Belastungen ermittelt werden (siehe Abb. 13). Auf diese Weise entsteht ein Konzentrationsbild der Schadstoffverteilung im Grundwasser des zu untersuchenden Bereiches.

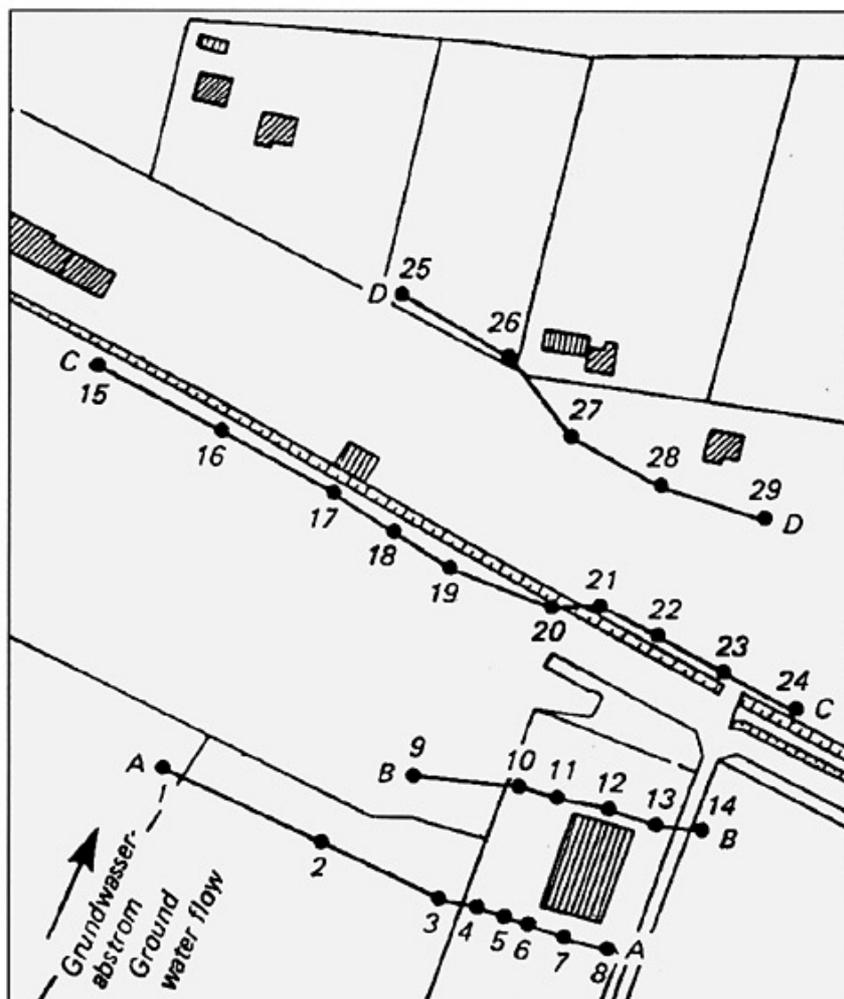


Abb. 13: Beispiel eines Rasters zur Ermittlung einer unterstromigen Schadstofffabtrift (nach VDI 3865)

## 4.2.5 Ermittlung einer Vorbelastung im Grundwasseranstrom

Liegt ein Grundwasserschaden an einem Standort vor und besteht der Verdacht, daß bereits der Zustrom leichtflüchtige Schadstoffe enthält, so sind mit Bodenluftmessungen im Grundwasseroberstrom durch ein quer zur Grundwasserfließrichtung angelegtes Profil eindeutige Hinweise hierauf zu erhalten (siehe Abb. 14). Im Konzentrationsmaximum sollte dann ein Grundwasserbeobachtungspegel zur Ermittlung der Beeinträchtigung der Grundwasserqualität gesetzt werden.

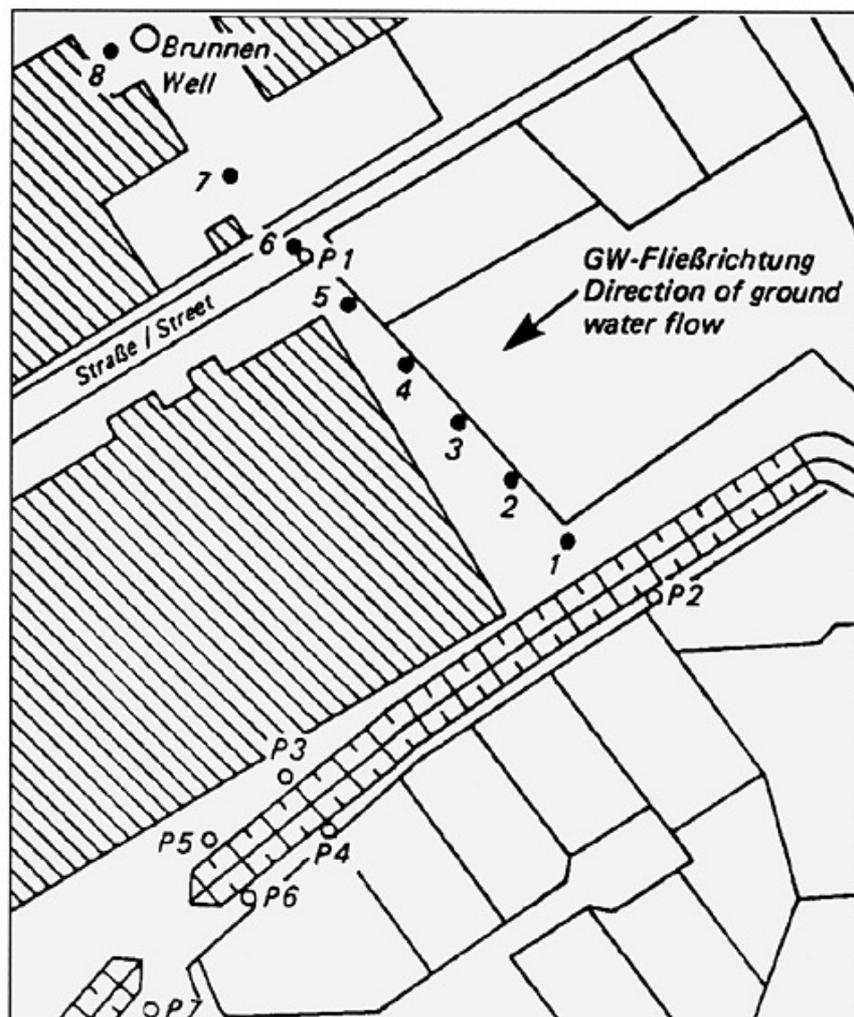


Abb. 14: Beispiel eines Rasters zur Ermittlung eines grundwasseroberstromigen Schadstoffeintrages (nach VDI 3865)

## 4.2.6 Ermittlung des Schadherdes für eine Grundwasserbelastung

Wurde in einem Entnahmehrunnen eine Grundwasserbelastung gemessen, deren Ursprung nicht bekannt ist, so sind zunächst kreisförmig um diesen Brunnen Meßpunkte erforderlich. Erhöhte Werte zeigen dann die Zustromrichtung an.

Durch weitere Meßpunkte in diese Richtung kann die Einleitstelle ermittelt werden (siehe Abb. 15). Die Ermittlung der Grundwasserfließrichtung ist vor den Bodenluftmessungen durchzuführen. Der Abstand der Meßachsen sollte so gewählt sein, daß einerseits nicht unnötig viele Meßpunkte erforderlich werden, auf der anderen Seite aber eine eindeutige Identifizierung und Lokalisation möglich ist.

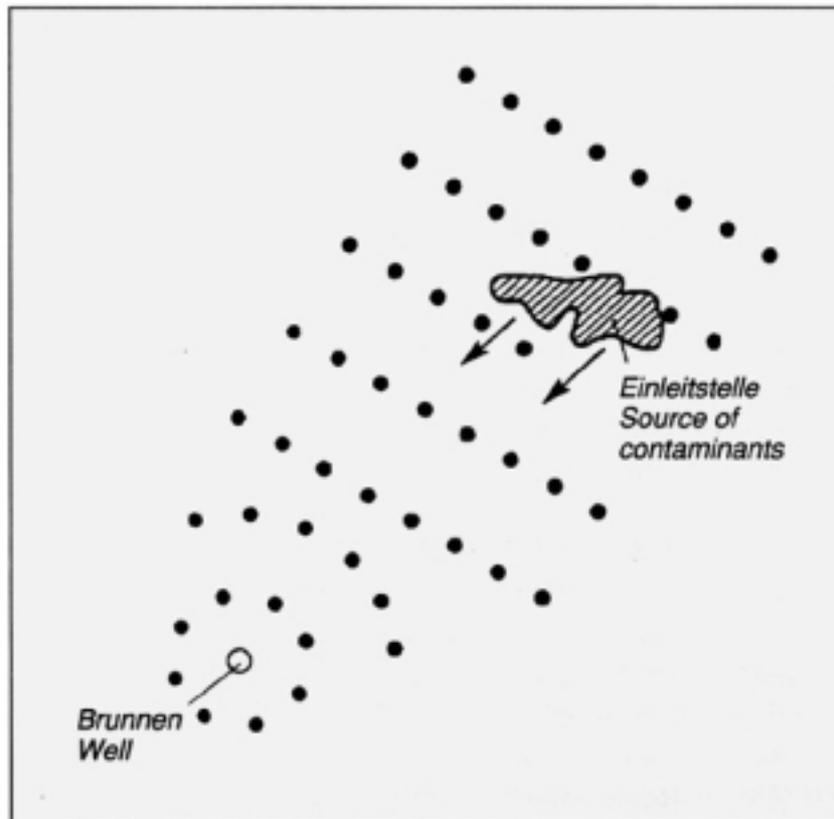


Abb. 15: Beispiel eines Rasters zur Ermittlung einer Einleitstelle (nach VDI 3865)

#### 4.2.7 Bodenluftuntersuchungen zum Auffinden von Leckagen aus defekten Leitungen

Verbindungsstellen, aber auch Rohrbrüche und Korrosionen können zu Leckagen führen. LHKW-Kontaminationen im Erdreich und Grundwasser können dann die Folge sein. Schäden können durch über der Leitung angeordnete Bodenluft-Meßpunkte in einem angemessenen Abstand (max. 15 m) lokalisiert werden. Ist die Messung über der Leitung nicht möglich, so sollte die Probenahme unmittelbar neben der Leitung erfolgen.

Je nach Problematik und Aufgabenstellung lassen sich auf diese Weise Verunreinigungen einer oder mehreren Verursacherquellen zuordnen (siehe Abb. 16). Nach Feststellung einer Kontamination des Bodens über dem Leitungssystem können Bodenluftmessungen auch im weiteren Umfeld des Leitungssystems sinnvoll sein.

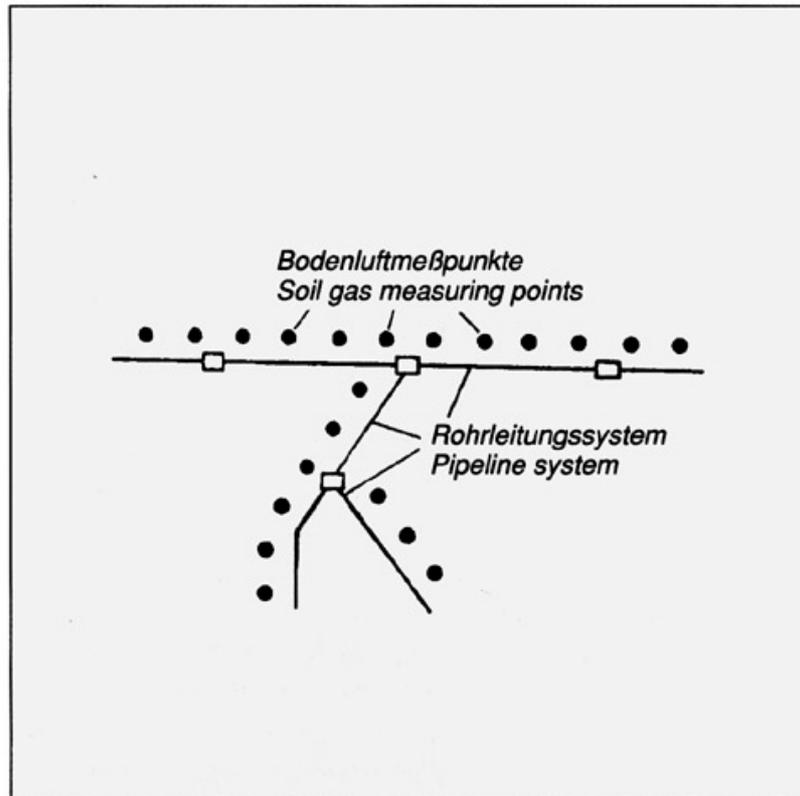


Abb. 16: Beispiel eines Rasters zum Auffinden von Leckagen aus defekten Rohrleitungssystemen (nach VDI 3865)

## 4.3 Anlegen von Probenahmestellen

### 4.3.1 Arten von Probenahmestellen

An den gemäß Probenahmestrategie ausgewählten Meßpunkten sind geeignete Probenahmestellen anzulegen. Hierbei wird zwischen Bohrlöchern, Sondierungen und stationären Bodenluftmeßstellen unterschieden. Unter Sondierung versteht man das Einbringen einer Probeentnahmesonde direkt, ohne Vorbohrung, in den Boden. Die Bohrlöcher und Sondierungen werden in der Regel nur zur einmaligen Probenentnahme angelegt, während die stationären Bodenluftmeßstellen für unterschiedliche Zwecke und Zeiträume zur wiederholten Probenentnahme eingerichtet werden. In den folgenden Abschnitten wird das Anlegen dieser Probenentnahmestellen sowie das hierfür notwendige Instrumentarium beschrieben.

Alle Bohrungen bzw. Sondierungen sind ausschließlich trocken niederzubringen, d. h., hierbei darf keine Spülung vorgenommen werden bzw. es dürfen keine Spülhilfen oder Spülungszusätze verwendet werden.

Die Bohrlochwandung wird beim Anlegen der Probenahmestelle mehr oder weniger stark verdichtet.

## 4.3.2 Bohrgeräte und Sonden

Je nach Probenahmevariante (siehe Tabelle 13) sind verschiedene Gerätekombinationen notwendig. Bei den verschiedenen Verfahrensvarianten ist darauf zu achten, daß die verwendeten Sonden für Boden und Bodenluft aufeinander abgestimmt sind (siehe Tabelle 14). Die Länge der Bohrgestänge muß der erforderlichen Probenahmetiefe entsprechen, Teillängen z. B. 1 m.

**Tabelle 13: Allgemeine Charakterisierung der Probenahmeverfahren (nach VDI 3865 Platt 2)**

	Probenahme mit Anreicherung			Probenahme ohne Anreicherung	
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Meßziel	punkt- bzw. horizont-orientierte Messung	Messung integrierend über vorgegebene Bohrlochlänge	Messung über einen größeren diffusen Tiefenbereich	punkt- bzw. horizont-orientierte Messung im Bohrlochtiefsten	siehe Varianten 1 und 2 (Adsorption)
Probenahmeprinzip	Probenentnahme bei mittlerem Unterdruck; Anreicherung an Feststoffadsorbens bzw. Messung mit direkt-anzeigenden Prüfröhrchen	Probenentnahme bei niedrigem Unterdruck; Anreicherung an Feststoffadsorbens bzw. Messung mit direkt-anzeigenden Prüfröhrchen	Probenentnahme bei relativ hohem Unterdruck; Anreicherung an Feststoffadsorbens	Probenentnahme eines sehr kleinen Probenvolumens mittels einer Spritze bei sehr kleinem Unterdruck	siehe Varianten 1 und 2 (Adsorption), jedoch wird die Bodenluftprobe entweder direkt oder über einen Zwischenschritt (Gas-sammelgefäß, siehe Variante 4) einem Gaschromatographen zur Analyse zugeführt
Erfäßtes Bodenvolumen	näherungsweise kugelförmiges, kleines Volumen aus dem Porenraum um die Ansaugöffnung der Sonde	näherungsweise zylindrisches Volumen um den Sondenschaft über die gesamte Länge des Bohrloches, ggf. durch Sperre (z. B. Packer) eingrenzbar, sowie aus dem nicht näher zu definierenden Porenvolumen	diffuses Volumen aus dem Porenraum um das unverdeckte untere Ende des Bohrloches	näherungsweise kugelförmiges, sehr kleines Volumen um die Sondenspitze aus einem nicht näher zu definierenden Porenvolumen unter dem offenen Bohrloch	siehe Varianten 1 und 2 (Adsorption)
Randbedingungen	Außendurchmesser der Entnahmesonde größer oder gleich dem Durchmesser des Bohrloches, abdichtend; Entnahmesonde bis mind. zum Bohrlochtiefsten eingeführt	Außendurchmesser der Entnahmesonde kleiner als der Durchmesser des Bohrloches, innerhalb des Bohrloches in variabler Höhe oder am Kopf gegenüber Außenluft abgedichtet; Entnahmesonde bis zur frei gewählten Tiefe eingeführt	Außendurchmesser der Entnahmesonde größer oder gleich dem Durchmesser des Bohrloches, abdichtend; Entnahmesonde nicht bis zum Bohrlochtiefsten eingeführt	Außendurchmesser der Entnahmesonde kleiner als der Durchmesser des Bohrloches, Bohrloch gegenüber Außenluft nicht abgedichtet, Sondenspitze idealerweise in den Boden eingedrückt (1 bis 5 cm)	siehe Varianten 1 und 2 (Adsorption)

**Tabelle 14: Beispiele für erprobte Abmessungen von Bohrloch und Probenahmesonden (nach VDI 3865, Varianten siehe Tabelle 13)**

Verhältnis $D_E/D_B$	$D_E$ (in mm) z. B.	$D_B$ (in mm) z. B.
$D_E \geq D_B$ (Varianten 1, 3, 5) geschlossenes Bohrloch	$\geq 26$	26
$D_E < D_B$ (Varianten 2, 5) geschlossenes Bohrloch	26	40 bis 100
$D_E > D_B$ (Variante 4) offenes Bohrloch	20 bis 25 26 bis 31	30 36

$D_E$  Entnahmesondendurchmesser (in mm)

$D_B$  Bohrl Lochdurchmesser (in mm)

### 4.3.3 Anlegen von Bohrlöchern

Für Bodenluftmessungen beträgt die Bohrlochmindesttiefe 1 m. Für vergleichende Messungen müssen Löcher mit gleichen Dimensionen gebohrt werden. Bohrlöcher werden mit Werkzeugen (Anlage 16) angelegt. Nach dem erfolgten Einschlag wird der Bohrkern abgedreht und die Bohrstange einschließlich Bohrgut mittels einer Ziehvorrichtung aus dem Boden gezogen.

Für Bohrtiefen größer als 1 m werden im allgemeinen Rammkernsonden (durch Rammgestänge verlängerbar) mit einem motorgetriebenen Hammer nach und nach bis zur gewünschten Tiefe eingeschlagen. Zum Abteufen der Sonden sind elektrogetriebene Geräte zu verwenden, um mögliche Kontaminationen durch Abluft, Öl und Benzin von Motorhämmern auszuschließen. Wird vor Ort zur Stromerzeugung ein Stromaggregat verwendet, so ist dieses in ausreichender Entfernung vom Meßpunkt aufzustellen, wobei die Windrichtung zu berücksichtigen ist. Das erste Segment wird auf 1 m vorgetrieben, gezogen und das Bohrgut aus der Rammkernsonde entfernt. Dann wird die Sonde bis auf 2 m vorgetrieben, erneut gezogen, das Bohrgut wiederum entfernt und das Gestänge um ein weiteres Segment (Länge im allgemeinen 1 m) verlängert und erneut in das Bohrloch eingeschlagen. Diese Vorgehensweise wird bis zur gewünschten Tiefe fortgesetzt.

Soll hierbei ein Vertikalprofil (Mindestintervall 0,5 m) der Kontaminationen in der Bodenluft aufgenommen werden, so wird jeweils nach dem Ziehen des Bohrgestänges eine Luftprobe mit einer in der Länge angepaßten Bodenluftentnahmesonde entnommen.

Mit jedem Herausziehen des Gestänges wird Bodenluft in das Bohrloch eingesaugt; umgekehrt wird beim Einbringen des Bohrgestänges Luft in das Bohrloch umgebende Erdreich eingetragen. Müssen befestigte Flächen in die Beprobung einbezogen werden, dann muß die Abdeckung des Bodens mit einem Meißel trocken durchbohrt werden. Danach kann das Bohrloch in dem darunter befindlichen Boden wie oben beschrieben angelegt werden.

#### **4.3.4 Anlegen von stationären Bodenluftmeßstellen**

Unter einer stationären Bodenluftmeßstelle versteht man eine ortsfest eingerichtete Probenahmestelle für die Entnahme von Bodenluft. Sie ist zur Beobachtung bzw. zur Überwachung von Änderungen der Beschaffenheit der Bodenluft zu empfehlen, um im Verlauf von Meßreihen vergleichbare Rahmenbedingungen über die Zeit zu gewährleisten.

Eine stationäre Bodenluftmeßstelle wird im unbefestigten Boden entweder durch Rammkernsondierung verschiedener Durchmesser (z. B. 50 bis 80 mm) oder durch Schneckenbohrung (Durchmesser z. B. 100 mm) angelegt. Bei befestigtem Boden muß in das Lockergestein vorgebohrt werden. Mit stationären Bodenluftmeßstellen werden in der Regel Horizonte zwischen 1 m unter Geländeoberkante und bis zum Grund- oder Stauwasserhorizont erschlossen. Die tatsächliche Tiefenlage richtet sich nach der Fragestellung, der Bodenbeschaffenheit sowie der technisch erforderlichen Auslegung der Pegel.

Bei Standorten, wo keine bodenmechanischen Beanspruchungen z. B. infolge von Setzungen, die den Pegel beschädigen könnten, zu erwarten sind, werden die stationären Bodenluftmeßstellen im Regelfall in Kunststoff (PVC, HDPE) ausgebaut. Andernfalls werden bevorzugt Metallrohre (Stahl, Kupfer) eingesetzt. Der Rohrdurchmesser sollte 1 Zoll nicht unterschreiten.

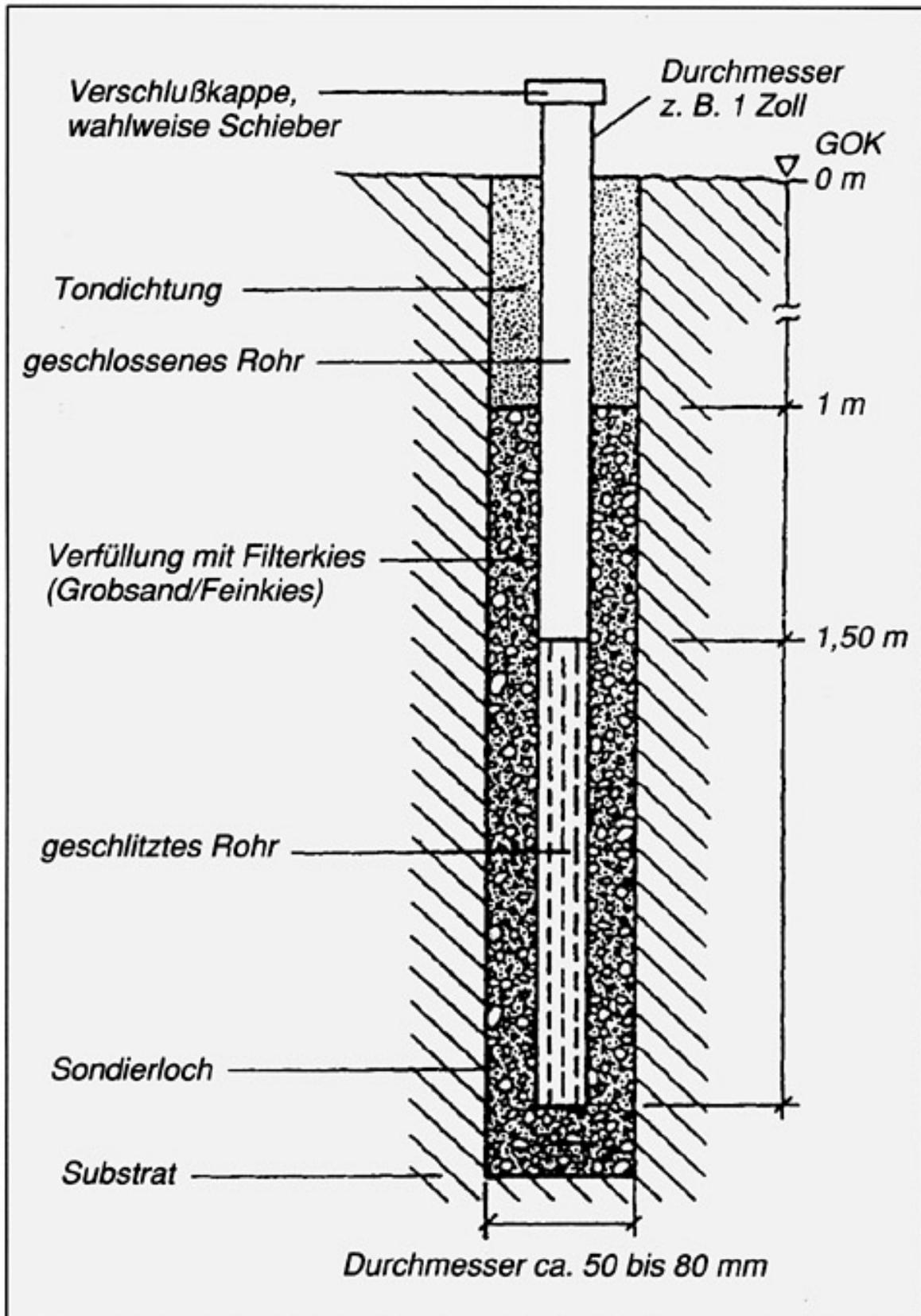


Abb. 17a: Permanenter Gasbrunnen (einstufig)

Im Prinzip ist eine stationäre Bodenluftmeßstelle folgendermaßen aufgebaut (Prinzipskizze siehe Abb. 17a):

- Bohrloch (Durchmesser z. B. 50 bis 80 mm)
- innenliegendes, teilweise (ab 1 m Geländeoberkante) perforiertes Rohr (Kunststoff oder Metall, Durchmesser z. B. 1 Zoll), geeignet für die Aufnahme oder den Anschluß einer Probenahmevorrichtung; Pegelrohr oben durch eine Kappe oder Stopfen (Metall oder Kunststoff) verschlossen, gegebenenfalls Absperrung durch Schieber bei volumenstromabhängigen Absaugmaßnahmen bzw. zur Verhinderung unkontrollierten Gasaustrittes
- Filterpackung zwischen Außenwandung des Rohres und der Bohrlochwand; aus trockenem Sand oder Kies, Körnung abhängig vom anstehenden Boden, um die Diffusion der Bodenluft in das Pegelrohr zu ermöglichen; durch geeignete Auswahl der Dichtungsmaterialien lassen sich bestimmte Tiefenzonen gezielt selektieren; dabei wird aber nicht gewährleistet, daß die Bodenluft über die gesamte perforierte und verfilterte Strecke mengenproportional angesaugt wird. Grundsätzlich ist nicht gewährleistet, daß eine derartige Meßstelle über ihre gesamte Betriebszeit gleichmäßig angeströmt wird.
- Abdichtung gegenüber Fremdluft, z. B. mit Tonsuspension, bis mindestens 1 m unter Geländeoberkante
- bei Einbau von Meßfühlern für Schreib- oder Warneinrichtungen über Flur gasdicht verschlossene seitliche Kabeldurchführungen am Aufsatzrohr.

Die Tiefenlage der Filterstrecke sollte im Normalfall erst ca. 1,5 m unterhalb Geländeoberkante erfolgen, um den Zutritt von Außenluft auszuschließen. Zur Untersuchung von Bodenluft aus unterschiedlichen Teufenbereichen können Mehrfachpegel eingerichtet werden. Hierzu sind entweder mehrere separate Einfachpegel mit unterschiedlichen Filtertiefen mit geringem Abstand zueinander einzurichten oder mehrere Filterrohre in einem großen Bohrloch einzubauen (siehe Abb. 17b). Mit zunehmender Tiefe wird bei Mehrfachpegeln die notwendige gasdichte Trennung der verschieden tief liegenden Filterstrecken schwieriger; daher sind unterschiedlich tiefe Einfachpegel vorzuziehen.

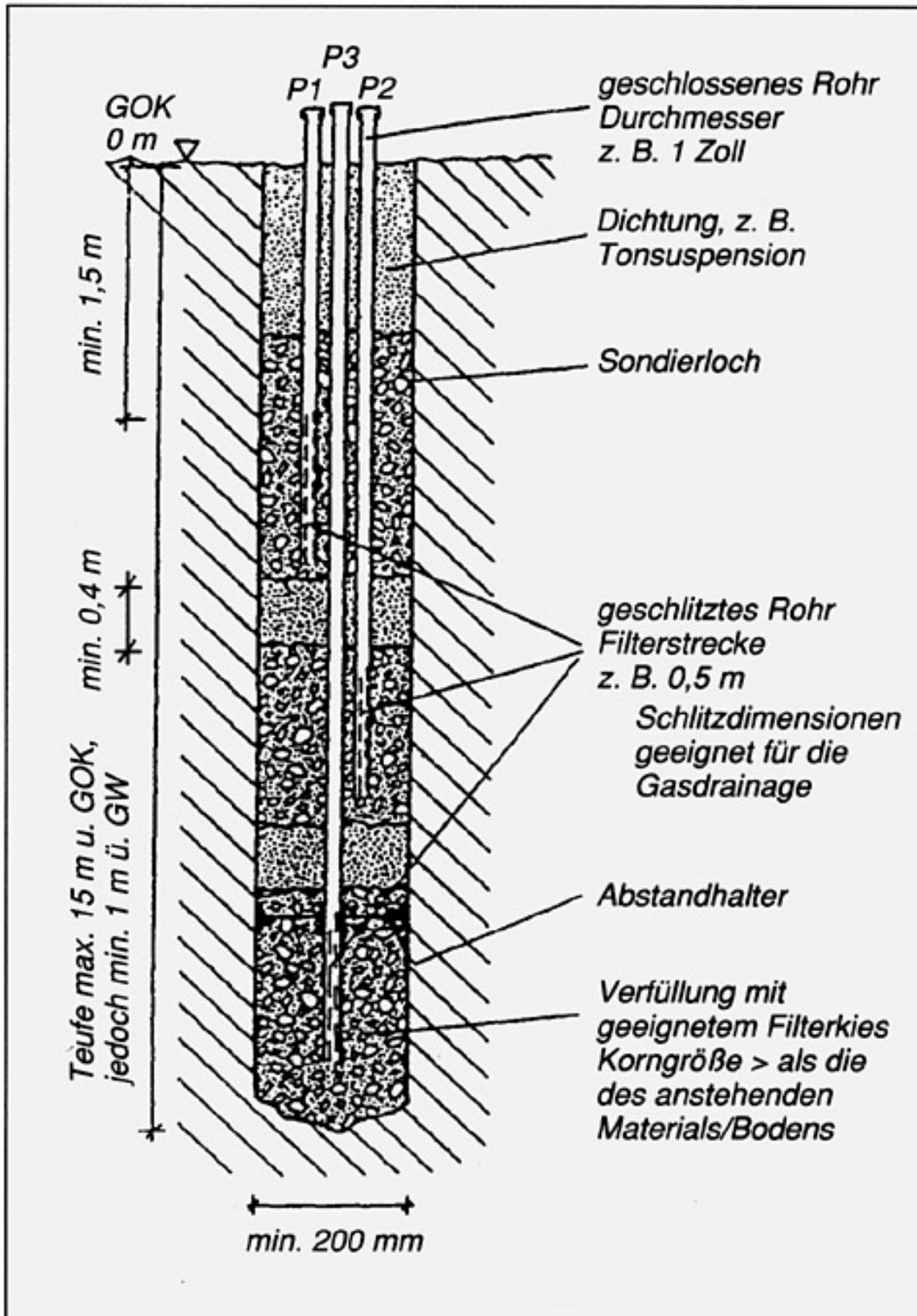


Abb. 17b: Permanenter Gasbrunnen (mehrstufig)

Bei Einbau der Rohrtour (d. h. des Luftpegelrohrs) sind gasdichte Verbindungsmuffen zu verwenden, um den Gaszutritt aus Teufenlagen oberhalb der Filterstrecke zu verhindern. Muß die stationäre Bodenluftmeßstelle unter Flur

eingebaut werden, dann sind die Pegelstandorte auf geeignete Weise abzudecken (z. B. mit Hydrantenkappen, Betonringausbau).

Grundwassermeßstellen sind zur Bodenluftentnahme im allgemeinen ungeeignet und können nur in besonderen Ausnahmefällen bei geeignetem Ausbau (Durchmesser, Verfilterung, Filtermaterial, ausreichend langer Perforation im nicht gesättigten Bodenbereich) auch als stationäre Bodenluftmeßstelle verwendet werden.

Die aus stationären Bodenluftmeßstellen gewonnenen Meßergebnisse sind anders zu bewerten als diejenigen aus eigens für kurzfristige Messungen angelegten Bohrlöchern.

## **4.4 Probenahme**

### **4.4.1 Grundlegende Varianten und Hinweise zur Probenahme**

Grundsätzlich wird zwischen Verfahren ohne („Direktverfahren“) und mit Anreicherung unterschieden. Eine Anreicherung mit Hilfe eines Adsorptionsmittels wird in der Regel erforderlich, wenn die Schadstoffkonzentration unter 100 µg/m<sup>3</sup> liegt.

Bei beiden Verfahren sind vor der Probenahme folgende Punkte zu beachten:

- Das System ist auf Dichtigkeit zu prüfen (z. B. nach VDI-Richtlinie 3865 Blatt 2).
- Absaugung bis zur Gleichgewichtseinstellung der Bodengaskomponenten. Die vollständige Entfernung der Atmosphärenluft kann durch Direktmessungen von Kohlendioxid und Sauerstoff nachgeprüft werden. Falls die Gleichgewichtseinstellung nicht ermittelt werden kann, sollte mindestens das 2fache Totvolumen der Sonde abgesaugt werden.
- Die Bodenluft ist mittels einer stufenlos für Druck und Volumen regelbaren Pumpe (z. B. Kolbenmembranpumpe) abzusaugen. Die Durchflußrate beträgt, abhängig von der Durchlässigkeit des Untergrundes, 0,2-1 l/min.
- Die Probe ist vor der Pumpe zu entnehmen bzw. das Adsorbens vor die Pumpe zu schalten.
- Alle bei der Probenahme mit Bodenluft in Kontakt gekommenen Bestandteile des Entnahmesystems sind entweder nur einmalig zu benutzen oder vor der Wiederverwendung an einem anderen Meßpunkt zu dekontaminieren. Die für die Bodenluftentnahme erforderlichen Eingriffe in den Boden (Anlagen des Bohrloches, Einbringen der Sonde, Abdichtung usw.) stören die Verteilung der Substanzen zwischen den verschiedenen Phasen. Bei Meßserien muß deshalb besonders darauf geachtet werden, daß zwischen der Sonde und der eigentlichen Probenentnahme stets das gleiche Zeitintervall eingehalten wird. Hierbei ist es dann unerheblich, ob sich das ursprüngliche Gleichgewicht wieder eingestellt hat. Bei mittleren und großen Entnahmeholumina ist auf sorgfältige Abdichtung des Bohrlochs gegen Außenluft zu achten.

- Gehen die Messungen an einem Standort über mehrere Tage, so sollten mindestens 2 Messungen an Meßstellen des Vortages wiederholt werden, um evtl. witterungsbedingte Veränderungen zu erfassen.

## **4.4.2 Direktmethoden**

### **4.4.2.1 Kleinmengenentnahme nach Neumayr**

Eine Sonde, deren Außendurchmesser mindestens 5 bis 10 mm kleiner als der des Bohrloches ist und die im Sondenkopf eine gasdichte Glasspritze mit einem Volumen von 5 bis 10 ml enthält, wird unmittelbar nach Ziehen des Bohrgestänges bis zum Bohrlochtiefsten eingeführt. Das Bohrloch wird nicht gegen Außenluft abgedichtet. Die Spitze der Kanüle wird etwa 5 cm in den Boden gedrückt. Einzelheiten sind in der VDI-Richtlinie 3865 Blatt 2 als Variante 4 beschrieben (siehe auch Tabelle 12).

### **4.4.2.2 Direkte Entnahme mit Pumpe**

Bei Probemengen bis zu 1 l erfolgt die Probenahme durch Absaugen mit einer Pumpe unter Verwendung geeigneter Sonden entweder als punkt- bzw. horizontorientierte Messung oder integrierend über eine vorgegebene Länge. Die Sonden sind gegen Fremdluft abzudichten. Während der Probenahme ist der Unterdruck in der Apparatur zu kontrollieren, um festzustellen, ob evtl. Undichtigkeiten im Probenahmesystem oder andere Unregelmäßigkeiten (z. B. Außenlufteinbruch) auftreten. Derartige Ereignisse sind im Probenahmeprotokoll zu vermerken. An der Probenahmestelle des Sondenrohres wird entweder ein Gaschromatograph über einen Durchflußmesser direkt angeschlossen oder die Probe in ein Gassammelgefäß entnommen. Einzelheiten sind in der VDI-Richtlinie 3865 Blatt 2 als Variante 5 beschrieben (siehe auch Tabelle 13).

## **4.4.3 Anreicherungsverfahren**

Mittels einer abgedichteten Sonde und einer Pumpe werden 1-20 l Bodenluft über ein geeignetes Adsorbens für unpolare organische Schadstoffe (z. B. Aktivkohle, XAD-4) geleitet. Die angereicherten Schadstoffe werden nach thermischer Desorption oder Elution der Analyse zugeführt. Die Blindwerte der Adsorbentien sind parallel zu bestimmen. Die Selektivität und Kapazität für bestimmte Schadstoffe sind stark von der Art der Adsorbentien und von der Beschaffenheit der Bodenluft (Temperatur, Feuchtigkeit, Gehalt an Begleitstoffen) abhängig. Je nach Positionierung der Sonde und Stärke des Unterdrucks ist die Messung punkt- bzw. horizontorientiert, integrierend über eine vorgegebene Bohrlochlänge oder über einen größeren diffusen Tiefenbereich zu gestalten (Varianten 1-3 der VDI-Richtlinie 3865, siehe auch Tabelle 13).

Anstelle von Adsorbentien können auch selbstanzeigende Prüfröhrchen eingesetzt werden. Sie ermöglichen eine halbquantitative Abschätzung bestimmter Schadstoffgehalte in der Bodenluft.

#### **4.4.4 Probenahme aus Bodenluftabsauganlagen**

Eine Beprobung von Bodenluft bei Absaugungen sollte grundsätzlich zwischen Absaugbrunnen und Strömungsmaschine stattfinden. Die Bodenluft am Ausgang von Vakuumpumpen oder Seitenkanalverdichtern kann sehr hohe Temperaturen aufweisen, so daß eine Abkühlung im Probenahmegefäß zu einem Unterdruck führt. Beim Öffnen des Gefäßes kann Fremdluft eintreten und die zu analysierenden Gasproben verdünnen. Bei öllaufgeschmierten Vakuumpumpen treten teilweise Ölnebel mit der abgesaugten Bodenluft aus der Anlage, die das Analysenergebnis verfälschen können.

Eine Absaugung der Bodenluft zu Sanierungszwecken verursacht eine beträchtliche Störung in den Bodengasverhältnissen und beeinflußt somit auch das Ergebnis der nachfolgenden Messung. Deshalb ist es in der Regel nicht zulässig, Ergebnisse aus dem Gasstrom einer Absaugung mit solchen aus der Erkundung zu vergleichen.

### **4.5 Probenbehandlung**

#### **4.5.1 Auswahl und Reinigung der Probengefäße**

Allgemeines siehe Kapitel 2.4.1.1. Für die Matrix Luft kommen die Gefäßtypen 15 sowie 17 bis 19 nach Anlage 4 in Frage. Diese Gefäßtypen sind für alle anorganischen und organischen Gase verwendbar. Ihre Auswahl richtet sich vor allem nach dem erforderlichen Volumen und der nachfolgenden Analysenmethode. Probenahmegeräte und -gefäße sind nicht in Räumen zu lagern, in denen Lösemittel bzw. Kraftstoffe aufbewahrt werden. Die Spritzen sind nach jeder Probenahme durch Evakuieren und Ausheizen zu reinigen. Die Adsorber-Röhrchen sind als Gefäßtyp 19 beschrieben. Wichtig ist, daß die Adsorbentmaterialien vor Verwendung auf die zu bestimmenden Substanzen geprüft werden, sofern die Lieferfirma das Material nicht ausdrücklich für den vorliegenden Verwendungszweck ausgewiesen hat und die Qualität garantiert.

Unabhängig von den Herstellerangaben sind folgende Qualitätssicherungsmaßnahmen durchzuführen:

1. Grundsätzlich sollten bei Bodenluftuntersuchungen Adsorberröhrchen mit Sicherheitszone verwendet werden.
2. Bei der Probenahme mit Adsorberröhrchen sind bei Verdacht auf hohe Belastungen zwei Röhrchen in Serie zu schalten, um Durchbrüche sicher ausschließen zu können. Vor allem bei hoher Feuchtigkeit der Bodenluft kann eine unvollständige Adsorption stattfinden. Im Labor werden die nachgeschalteten Adsorberröhrchen insbesondere bei hohen Konzentrationen im vorgeschalteten Adsorberröhrchen auf eventuelle Durchbrüche geprüft. Ist kein oder nur ein unwesentlicher Durchbruch feststellbar, kann auf die Analyse weiterer nachgeschalteter Röhrchen verzichtet werden.
3. Zur Feststellung eventueller Querkontaminationen der Adsorptionsröhrchen bei Probenahme, Transport und Lagerung sind in jedem Fall sogenannte „Blindproben“ zu untersuchen, d. h. nicht mit Bodenluft beaufschlagte Adsorptionsröhrchen, die analog den beaufschlagten Adsorberröhrchen zum und vom Probenahmeort transportiert und unter identischen Bedingungen gelagert werden. Verluste bei

Lagerung und Transport lassen sich auch durch dotierte Adsorptionsröhrchen mit bekannter Beladung erkennen.

## **4.5.2 Füllung der Probengefäße**

### **4.5.2.1 Abfüllen in Headspace-Gläser oder abschmelzbare Glasampullen**

Die bei der Absaug- bzw. Neumayr-Methode gewonnene Probe wird sofort mittels Spritze über eine Kanüle in ein verschlossenes Headspace-Gläschen (5, 10 oder 20 ml) gedrückt. Zur Verdrängung der Luft im Gläschen und zum Druckausgleich dient eine zweite Kanüle. Das Volumen des Headspace-Gläschens darf maximal die Hälfte des entnommenen Bodengasvolumens betragen.

Beim Abfüllen ist folgendes zu beachten:

Der Transfer der Gasprobe in das Probengefäß ist die Hauptfehlerquelle. Die in dem Probengefäß befindliche Luft muß von der Bodenluft vollständig verdrängt werden. Dazu wird das Gefäß mit der dreifachen Menge an Bodenluft gespült.

Hierbei soll die Bodenluft aus der Kanüle in den Bereich des Gefäßes ausströmen, der von der Austrittsöffnung am weitesten entfernt ist. Damit soll eine ausreichende Verdrängung der Atmosphärenluft gewährleistet werden. Anstatt der Headspace-Gläser können auch abschmelzbare Glasampullen (z. B. Pasteurpipetten) in entsprechender Weise gefüllt werden. Das Volumen der Glasampullen darf maximal die Hälfte des entnommenen Bodengasvolumens betragen. Die Ampulle ist umgehend in einer Propangasbrennerflamme an dem kapillar ausgezogenem Teil zuzuschmelzen.

### **4.5.2.2 Abfüllen in Gasmäuse (aus Glas)**

Diese Variante der Abfüllung ist insbesondere für die gleichzeitige Untersuchung von Bodenluft und Deponiegas geeignet.

Werden Gasmäuse als Probengefäß verwendet, ist sicherzustellen, daß vor der Probenahme mindestens das doppelte Volumen durch die Gasmaus abgesaugt wurde. Die Hähne an beiden Enden der Gasmaus sind gleichzeitig zu schließen, damit keine Druckdifferenzen in der Gasmaus auftreten können.

## **4.5.3 Beschriftung der Probengefäße**

Analog Kapitel 2.4.1.4.

## **4.5.4 Proben transport und -lagerung**

Die Gassammelgefäße sind lichtgeschützt ins Labor zu transportieren und dort gegebenenfalls bis zur Aufarbeitung bei Zimmertemperatur im Dunkeln zu lagern. Beladene Adsorber-Röhrchen sind bei 4 °C zu lagern. Um vergleichbare Werte zu erhalten hat die Analyse der Proben binnen 24 h nach Probeneingang zu erfolgen. Sollte diese Frist nicht eingehalten werden, ist dies mit Angabe von Gründen zu dokumentieren.

## 4.6 Probenahmeprotokoll

Für jede einzelne Probe ist ein aussagekräftiges Probenahmeprotokoll zu erstellen, da die Entnahmebedingungen die Bodenluftproben stark beeinflussen. Das Muster eines derartigen Protokolls nach VDI-Richtlinie 3865 ist in Anlage 18 enthalten.

## 4.7 Literatur

- /1/ Arbeitsgruppe Bayern (1996): Qualitätssicherung bei der Entnahme von Bodenluftproben im Rahmen von Altlastenuntersuchungen und -sanierungen. - Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München (Entwurf).
- /2/ Grathwohl, P. & Reisinger, C. (1995): Bestimmung der Emission leichtflüchtiger organischer Schadstoffe aus kontaminierten Böden, Teil 1: Berechnung der Poren- bzw. Sickerwasserkonzentration aus der Schadstoffkonzentration in der Bodenluft. - Eberhard-Karls-Universität Tübingen (Zwischenbericht).
- /3/ Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1993): Verfahrensempfehlungen für die Probenahme bei Altlasten. - Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, Karlsruhe.
- /4/ Scholz, B. (1996): Probenbehandlung. - Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz (Entwurf).
- /5/ VDI-Richtlinie 3865: Messen organischer Bodenverunreinigungen; Blatt 1: Messen leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe-Meßplanung für Bodenluft-Untersuchungsverfahren. - (10/92), Blatt 2: Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben. - (Entwurf 6/96).
- /6/ Verwaltungsvereinbarung OFD Hannover-BAM vom 15.09.95: Anforderungen an Untersuchungsmethoden zur Erkundung und Bewertung kontaminationsverdächtiger/kontaminierter Flächen und Standorte auf Bundesliegenschaften. - (Stand 6/96).

# 5 Deponiegas

## 5.1 Grundsätzliches

### 5.1.1 Definition

Als Deponiegas werden die im Deponiekörper durch mikrobielle Abbauprozesse entstandenen gasförmigen Stoffwechselprodukte, soweit sie nicht gelöst werden, sowie die in die Gasphase übergegangenen abgelagerten Stoffe bezeichnet.

### 5.1.2 Unterscheidung zur Bodenluft und Zielstellung der Deponiegasmessung

Im Ergebnis des biologischen Abbaus organischer Substanz im Deponiekörper entstehen überwiegend Methan und Kohlendioxid als gasförmige Produkte. Daneben werden aus Stickstoff- und Schwefelverbindungen Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) gebildet.

In der Anfangsphase einer Deponie sind noch die Luftbestandteile Sauerstoff und Stickstoff, zwischenzeitlich auch Wasserstoff vorhanden. Bei Altablagerungen wird gegen Ende des Abbauprozesses das Deponiegas wieder zunehmend mit Luft verdünnt und Methan zu Kohlendioxid oxidiert. Neben diesen Hauptkomponenten sind wie im Boden, leichtflüchtige organische Schadstoffe im Spurenbereich zu finden.

Deponiegaskonzentrationen werden mit folgenden Zielen bestimmt:

- Ermittlung der Abbauphase, in der sich die Deponie befindet.
- Vom Deponiegas einschließlich seiner Spurenstoffe ausgehende Brand-, Explosions-, Erstickungs- und Gesundheitsgefahr. Dabei ist auch die Ausbreitung in angrenzende Medien (Boden, Atmosphäre, Raumluft) zu berücksichtigen.

Die nachstehenden Ausführungen zur Probenahme bei Deponiegas beschränken sich nur auf die Besonderheiten in Ergänzung der Angaben zur Bodenluft.

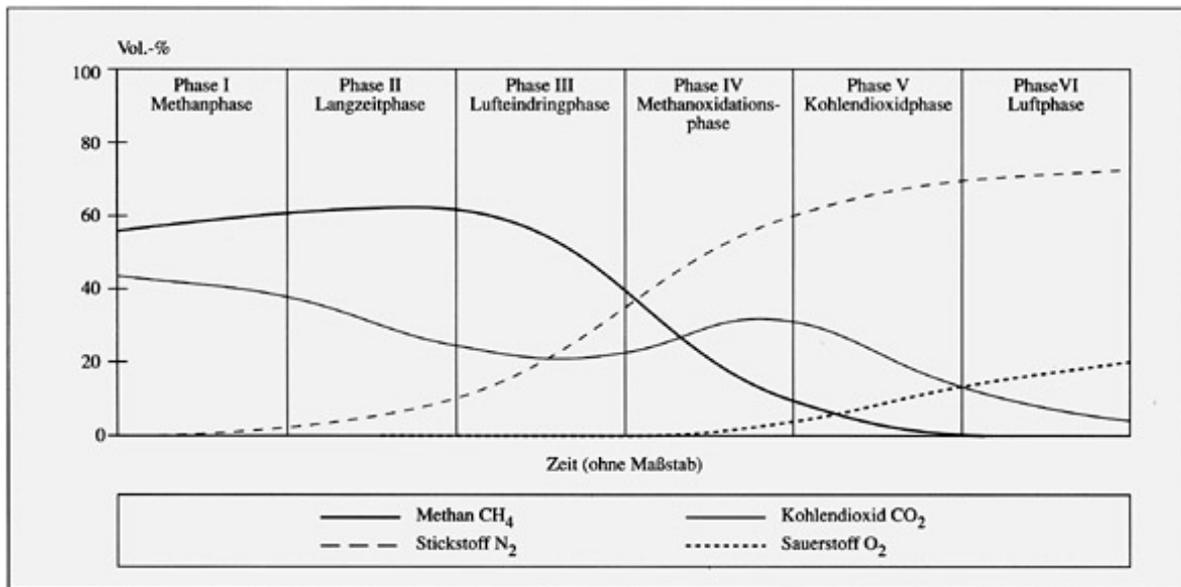
## 5.2 Probenahmestrategie

Die Strategie der Deponiegasprobenahme richtet sich sowohl nach der zu erwartenden Homogenität der Porengaskonzentration innerhalb der Deponie als auch nach den vermutlichen Emissionen in die angrenzenden Medien.

Die Homogenität der Porengaskonzentration wird im wesentlichen von der Gleichartigkeit des abgelagerten Materials und der Ablagerungszeiträume bestimmt. Beides ist im Ergebnis der Historischen Erkundung zu ermitteln.

Am Modellfall einer homogenen Hausmülldeponie wird der Langzeitverlauf der Porengaskonzentration, beginnend bei der stabilen Methanphase (nach 1-3 Jahren erreicht)

in 6 Phasen eingeteilt (nach Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1992), wobei jede Phase durch ein bestimmtes Konzentrationsverhältnis zwischen  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , und  $\text{N}_2$  gekennzeichnet ist (s. Abb. 18).



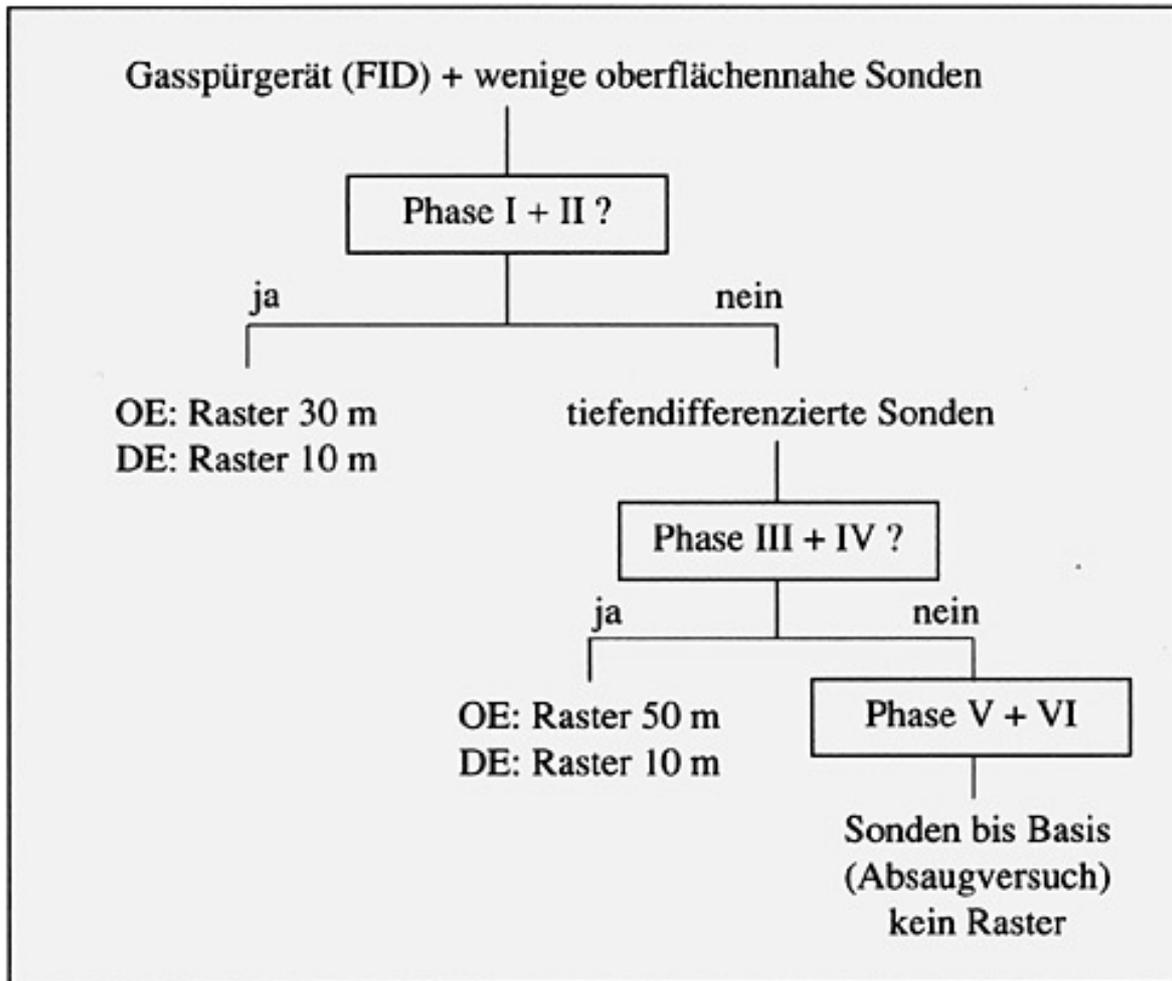
**Abb. 18: Deponiegas-Langzeitkonzentrationsverlauf bei Altablagerungen**

Gasemissionen sind vor allem in den Phasen I und II mit starker Deponiegasproduktion zu erwarten, während sie in den Phasen III und IV abnehmen und in den Phasen V und VI zum Erliegen kommen, dies gilt auch für flüchtige Spurenstoffe.

Reale Deponien weichen mehr oder weniger von diesen idealisierten Verhältnissen ab, da sie häufig heterogene Mischdeponien darstellen mit Abschnitten, die in verschiedenen Zeiträumen entstanden sind. Es kann daher sinnvoll sein, größere Altablagerungen in Teilbereiche zu untergliedern. Einen wesentlichen Einfluß auf die Gasbildung hat auch der Wassergehalt der Ablagerung, der durch eine Abdeckung verringert oder durch Grundwasseranstieg erhöht worden sein kann.

Die Vorgehensweise in Abhängigkeit von den Deponiephasen zeigt Abbildung 19.

Zunächst verschafft man sich mit Hilfe eines Gasspürgerätes mit Flammenionisationsdetektor und wenigen oberflächennahen Sonden einen ersten Überblick über die Verteilung der Gasemissionen an der Oberfläche und die Zusammensetzung des Deponiegases. Erst danach ist eine Abschätzung der zutreffenden Phase(n) möglich.



**Abb. 19: Sondierung in Abhängigkeit von den Deponiephasen**

Befindet sich die Deponie in der Phase I oder II, so sind für eine Orientierende Erkundung (OE) die oberflächennahen Sonden auf ein Raster mit etwa 30 m Abstand zu verdichten. Für die Detailerkundung (DE) kann, je nach dem Ergebnis der Orientierenden Erkundung, eine Verringerung des Sondenabstandes bis auf 10 m sinnvoll sein.

Wird eine höhere Phase vermutet, dann ist dies durch tiefendifferenzierte Sonden zu bestätigen. Für die Phasen III und IV genügt in der Orientierenden Erkundung ein Raster mit etwa 50 m Sondenabstand, während für die Detailerkundung eine Verdichtung bis auf 10 m erforderlich werden kann.

Für eine Bestätigung der Phasen V und VI ist das Deponiegas bis zur Basis der Altablagerung zu erfassen. Dies erfolgt am besten über eine Absaugung von Sonden über einen längeren Zeitraum. Ein Meßnetz zur Erfassung der Deponiegasausbreitung ist nicht erforderlich.

## **5.3 Probenahmemethoden**

### **5.3.1 Sondenmessungen und Absaugversuche**

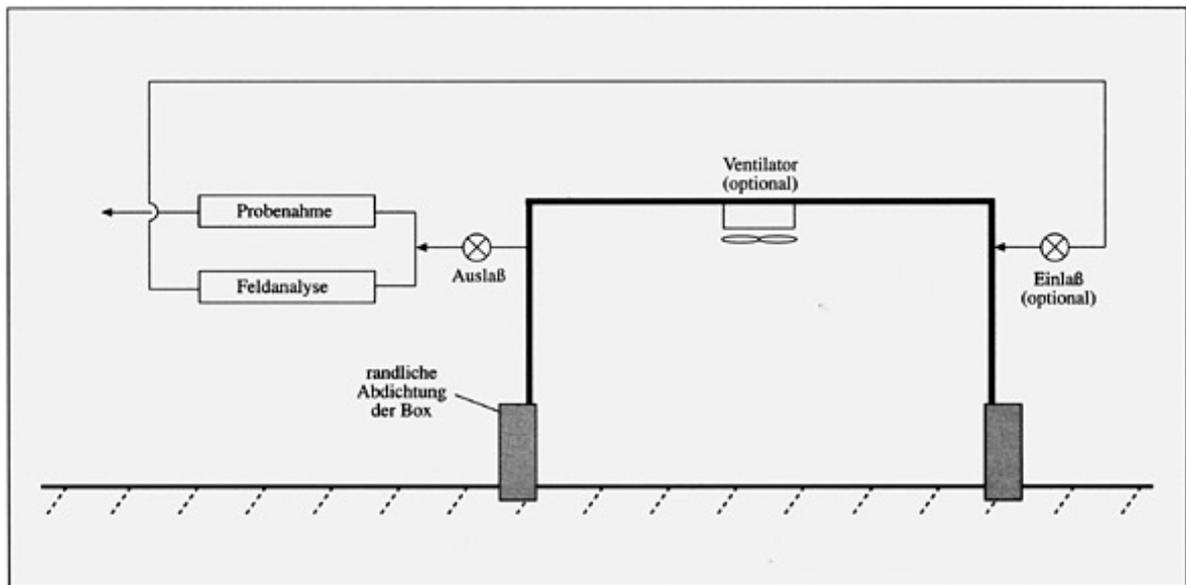
Für die Bestimmung der Zusammensetzung von Porengas aus Ablagerungen werden Sondenmessungen und Absaugversuche durchgeführt. Hinsichtlich der Anlage der Probenahmestellen und der Probenahme selbst gelten die bei der Bodenluft beschriebenen Ausführungen (4.3 und 4.4).

### **5.3.2 Gasemissionsmessungen**

Ausgasungen an der Oberfläche sind vor allem bei Deponien/Altanlagen zu beachten, können aber auch bei Altstandorten auftreten. Ein schneller Überblick läßt sich durch Vor-Ort-Messungen mit Gasspürgeräten (FID für Methan, PID für organische Spurenstoffe sowie  $\text{H}_2\text{S}$  und  $\text{NH}_3$ ) gewinnen.

Eine Sammel- und Probenahmemöglichkeit bieten die Gasboxen. Gasboxen sind rechteckige Kästen aus gasundurchlässigem und die Probe nicht sorbierendem Material, deren Größe von der Meßaufgabe abhängt. Das entnommene Probenvolumen sollte nur wenige Prozent des Boxvolumens betragen (Hessische Landesanstalt für Umwelt, 1996). Es ist ein möglichst großes Verhältnis zwischen Grundfläche und Volumen der Box anzustreben (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1992), die Mindesthöhe liegt bei 10 cm. Die Box wird nach ihrer Aufstellung an den Rändern gegen Außenluft abgedichtet (z. B. Mörtel, Beton); ein Druckausgleich zur Atmosphäre muß gewährleistet sein, z. B. durch einen perforierten Kunststoffschlauch.

Neben der kontinuierlichen Messung vor Ort ist eine Entnahme von Einzelproben für die Laboranalyse möglich (s. Abb. 2). Da dies mit einer Störung des Gasgleichgewichtes verbunden ist, sollten jeweils nur geringe Mengen mit einer niedrigen Absaugrate entnommen werden.



**Abb. 20: Prinzipschaubild einer Exhalationsmessung (nach HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 1996)**

## 5.4 Literatur

- /1/ Hessische Landesanstalt für Umwelt (1996): Erkundung von Altflächen, Teil 2, Untersuchung altlastverdächtiger Flächen. - Handbuch Altlasten Bd. 3, Wiesbaden (Entwurf).
- /2/ Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1992): Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen - Leitfaden Deponiegas. - Materialien zur Altlastenbehandlung Bd. 10, Karlsruhe.

## 6 Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Beprobungstiefen für unterschiedliche Transportpfade
- Tab. 2: Übersichtstabelle zu Beprobungsumfang und Probenahmetechnik auf wassergebundenen Sportplätzen
- Tab. 3: Güteklassen für Bodenproben nach DIN 4021 (Oktober 1990)
- Tab. 4: Erforderlicher Außendurchmesser in Abhängigkeit vom Größtkorn nach DIN 4021 und erforderliche Probelänge je kg Probe (nach Ingenieurtechnischer Verband Altlasten, 1994)
- Tab. 5: Übersicht über Aufschlußverfahren bei der Altlastenerkundung (nach Ingenieurtechnischer Verband Altlasten, 1994)
- Tab. 6: Zusammenhang zwischen Durchmesser des Größtkorns einer Probe und der erforderlichen Mindestprobenmenge für die Bestimmung der Korngrößenverteilung (aus DIN 18123 und 19683, Teil 1)
- Tab. 7: Beprobung von Haufwerken
- Tab. 8: Beprobung von bewegten Materialien aus Bodenreinigungsanlagen
- Tab. 9: Zuordnung Prüfparameter – Probengefäß für Matrix Boden
- Tab. 10: Fließzeiten berechnet nach Bear, J. & Jacobs, M. (1995) und nach der Zylinderformel für erfaßte Abstrombreiten von  $a = 10$  m und  $a = 5$  m im Lockergestein
- Tab. 11: Zuordnung Prüfparameter – Probengefäß für Matrix Grund- und Oberflächenwasser
- Tab. 12: Vor Ort quantitativ zu messende Parameter
- Tab. 13: Allgemeine Charakterisierung der Probenahmeverfahren (nach VDI 3865 Blatt 2)
- Tab. 14: Beispiele für erprobte Abmessungen von Bohrloch und Probenahmesonden (nach VDI 3865, Varianten siehe Tabelle 13)

## 7 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:      Quadratisches, regelmäßiges Gitter mit Verdichtung bei ehemaligen Anlagenkomponenten, nach Leuchs (1991)
- Abb. 2:      Regelmäßiges Gitter aus gleichseitigen Dreiecken
- Abb. 3:      Polares Raster um ein Kontaminationszentrum, nach Leuchs (1991)
- Abb. 4:      Anordnung der Entnahmestellen bei linienhaften Kontaminationen
- Abb. 5:      Querschnitt eines Bohrkerns (Schraffur zeigt den aus dem Bohrkern zu entnehmenden Bereich)
- Abb. 6a:     Vorgehensweise zur Bestimmung der Anzahl von Grundwassermeßstellen (GWM) – Standard
- Abb. 6b:     Vorgehensweise zur Bestimmung der Anzahl von Grundwassermeßstellen (GWM)– Alternative
- Abb. 7a:     Vorgehensweise zur Positionierung der Grundwassermeßstellen (GWM) – Standard
- Abb. 7b:     Vorgehensweise zur Positionierung der Grundwassermeßstellen (GWM)– Ermittlung von BA
- Abb. 8a:     Vorgehensweise bei Meßstellenbau und Festlegung von bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen – Standard
- Abb. 8b:     Vorgehensweise bei Meßstellenbau und Festlegung von bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen – Alternative
- Abb. 9:      Eignung von Bohrlochtests für verschiedene Durchlässigkeitsbeiwerte (verändert und ergänzt nach Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1991; S. 18ff.)
- Abb. 10a:    Vorgehensweise zur Bestimmung der hydraulischen Kennwerte – Standard
- Abb. 10b:    Vorgehensweise zur Bestimmung der hydraulischen Kennwerte – Alternative
- Abb. 11a:    Vorgehensweise zur Probenahme – Standard
- Abb. 11b:    Vorgehensweise zur Probenahme – Alternative
- Abb. 12:     Beispiel eines Meßrasters auf unbekanntem Gelände (nach VDI 3865)
- Abb. 13:     Beispiel eines Rasters zur Ermittlung einer unterstromigen Schadstoffabdriftung (nach VDI 3865)
- Abb. 14:     Beispiel eines Rasters zur Ermittlung eines grundwasseroberstromigen Schadstoffeintrages (nach VDI 3865)
- Abb. 15:     Beispiel eines Rasters zur Ermittlung einer Einleitstelle (nach VDI 3865)
- Abb. 16:     Beispiel eines Rasters zum Auffinden von Leckagen aus defekten Rohrleitungssystemen (nach VDI 3865)
- Abb. 17a:    Permanenter Gasbrunnen (einstufig)
- Abb. 17b:    Permanenter Gasbrunnen (mehrstufig)

Abb. 18: Deponiegas-Langzeitkonzentrationsverlauf bei Altablagerungen

Abb. 19: Sondierungen in Abhängigkeit von den Deponiephasen

Abb. 20: Prinzipschaubild einer Exhalationsmessung (nach Hessische Landesanstalt für Umwelt, 1996) 53

## 8 Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Relevante DIN-Vorschriften zur Entnahme von Bodenproben
- Anlage 2: Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung von Bohrarbeiten „Bohr-Anzeigepflicht und Bohrergebnisse-Mitteilungspflicht“
- Anlage 3: Probenahmeprotokoll für Abfallstoffe und Haufwerke
- Anlage 4: Gefäßtypen für die Probenahme
- Anlage 5: Reinigung von Probengefäßen aus Glas
- Anlage 6: Reinigung von Probengefäßen aus Polyethylen oder anderen PTFE-freien Kunststoffen
- Anlage 7a: Probenahme Boden – Formblatt B 1
- Anlage 7b: Probenahme Boden – Formblatt B 2
- Anlage 7c: Probenahme Boden – Formblatt B 3
- Anlage 8: Protokoll zum Probentransport
- Anlage 9: Verzeichnis der Abkürzungen zum Teil Grundwasser
- Anlage 10: Vorgehensweise zur Aufstellung des Hydrogeologischen Arbeitsmodells
- Anlage 11: Geräte zur Entnahme von Wasserproben
- Anlage 12: Konservierung von Wasserproben
- Anlage 13: Protokoll zum Abpumpen vor der Probenahme
- Anlage 14: Protokoll über die Entnahme einer Grundwasserprobe
- Anlage 15: Methoden zur Grundwassererkundung
- Anlage 16: Verschiedene Typen von Bohrwerkzeugen (nach VDI 3865 Blatt 2)
- Anlage 17: Protokoll über die Entnahme einer Bodenluftprobe

## **9 Abbildungsverzeichnis der Anlagen**

Abb. A 1: Rammsonde mit geschlossener Spitze

Abb. A 2: Rammkernsonde, offen<sup>85</sup>

Abb. A 3: Rammkernsonde, geschlossen<sup>85</sup>

Abb. A 4: Schlitzsonde oder Nutstange<sup>85</sup>

Abb. A 5: Bohrschnecke<sup>85</sup>

# 10 Anlagen

## Anlage 1 - Relevante DIN-Vorschriften zur Entnahme von Bodenproben

DIN	Ersch.- Jahr	Titel
4020	1990	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
4021	1991	Aufschluß durch Schürfe und Bohrungen und Entnahmen von Proben
4022 Teil 1	1989	Benennen und Beschreiben von Boden und Fels.- .Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels
4022 Teil 2	1981	Benennen und Beschreiben von Boden und Fels – Schichtenverzeichnis für Bohrungen im Fels (Felsgestein)
4022 Teil 3	1982	Benennen und Beschreiben von Boden und Fels – Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein)
4023	1984	Baugrund- und Wasserbohrungen – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse
4094	1990	Erkundung durch Sondierung
4124	1981	Baugruben und Gräben, Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau
52101	1988	Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen
18123	1983	Bestimmung der Korngrößenverteilung
19671 Teil 1	1964	Rillenbohrer, Rohrbohrer
19671 Teil 2	1964	Gestänge, Flügelbohrer, Bohrschappe, Marschenlöffel, Spiralbohrer
19672 Teil 1	1968	Bodenentnahmegерäte für den Landeskulturbau
19683 Teil 1	1973	Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau; Physikalische Laboruntersuchungen, Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung durch Siebung

## **Anlage 2 - Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung von Bohrarbeiten „Bohr-Anzeigepflicht und Bohrergergebnisse-Mitteilungspflicht“**

Gemäß § 4 des Lagerstättengesetzes<sup>1)</sup> in Verbindung mit Art. 3 der VO zur Ausführung des Lagerstättengesetzes<sup>2)</sup> besteht für denjenigen, der eine Bohrung ausführt (i. d. Regel ein Bohrunternehmen), die Pflicht der Anzeige vor Beginn der Arbeiten sowie die Pflicht der Mitteilung der Bohrergergebnisse an die Geologische Landesanstalt.

Zur Beachtung:

1. Für Bohrungen und die dazugehörigen Betriebseinrichtungen, die nicht für das Aufsuchen oder Gewinnen von Bodenschätzen bestimmt sind, gilt ferner § 127 Bundesberggesetz<sup>4)</sup>, sofern die Bohrungen mehr als 100 m in den Boden eindringen sollen. Die Bohrungen sind bei dem jeweils zuständigen Bergamt anzuzeigen.
2. Die gesonderte Anzeigepflicht gemäß § 35 WHG in Verbindung mit § 45 Sächs. WG gegenüber der zuständigen unteren Wasserbehörde bleibt bestehen. Geologische Landesanstalt im Sinne des Lagerstättengesetzes sind das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) sowie die seiner Fachaufsicht unterstellten Stellen für Gebietsgeologie an den Staatlichen Umweltfachämtern (StUFÄ)<sup>3)</sup>.

Lassen Bohrergergebnisse oder Schachtarbeiten auf Altbergbau, nichtbergbauliche Hohlräume oder aufgelockerte Zonen (möglicherweise versetzte Hohlräume) schließen, die in einer bergbaulichen Stellungnahme nicht angezeigt wurden, ist das zuständige Bergamt (siehe Adressen) darüber zu informieren. Die Meldung sollte alle bedeutsamen Informationen zur Bohrung umfassen. Sofern Bohrarbeiten vorgesehen sind bzw. gegenwärtig durchgeführt werden, ersuchen wir Sie, den Pflichtigen darauf hinzuweisen, daß er (oder in seinem Auftrag das Ingenieurbüro, das die fachliche Leitung innehat) in Erfüllung o. a. Pflichten sowohl die Anzeige als auch den Bericht (Mitteilung der Bohrergergebnisse) an die zuständige Stelle zu richten hat.

Die objektbezogene Anzeige erfordert folgende Angaben:

- Name, Anschrift, Telefonnummer des Anzeigepflichtigen (Bohrunternehmen)
- Name, Anschrift, Telefonnummer des Ingenieurbüros, das die fachliche Leitung innehat
- Beschreibung der Lage des Bohrortes (Name der Gemeinde, des Ortsteiles bzw. der Gemarkung und Flurstücksnummer sowie die Nummer der amtlichen Topographischen Karte 1:25 000)
- Zweck der Bohrungen
- Objektkurzbezeichnung
- Auftraggeber der Bohrarbeiten
- Anzahl und Bezeichnung der Bohrungen/voraussichtliche Endteufe
- Bohrverfahren/Durchmesser und Endteufe
- zu entnehmende Probearten

- voraussichtlicher Bohrbeginn/voraussichtliche Dauer der Bohrarbeiten
- evtl. vorhandene Gutachten.

Die Einführung eines einheitlichen Formblattes ist vorgesehen.

Der objektbezogene Bericht (Mitteilung der Bohrergebnisse) ist vorerst unter Verwendung z. Z. gebräuchlicher Formblätter (nach DIN 4022) zu erstellen. Sowohl der Anzeige als auch dem Bericht (Mitteilung der Bohrergebnisse) sind jeweils als Anlage hinzuzufügen:

- ein Übersichtslageplan im Maßstab 1:10 000 (Ausschnitt aus der amtlichen Topographischen Karte; Größe A4) mit Eintragung der Bohransatzpunkte
- eine Flurkarte mit Eintragung der Bohransatzpunkte.

Ordnungswidrig handelt, wer eine Anzeige-, Mitteilungs- oder Auskunftspflicht nach den §§ 3, 4, 5 Abs. 2 Satz 1 oder § 6 Abs. 5 zuwiderhandelt. Die Ordnungswidrigkeit kann mit einer Geldbuße bis zu zehntausend Deutsche Mark

geahndet werden<sup>1)</sup>).

### **Adressen**

Landesamt für Umwelt  
und Geologie  
Bereich Boden und Geologie  
Postfach 1 32  
**09583 Freiberg**

Bergamt Borna  
Witznitzer Werkstr.  
**04552 Borna**

Stelle für Gebietsgeologie  
am StUFA Leipzig  
Postfach 24 12 15  
**04332 Leipzig**

Bergamt Chemnitz  
Klingerstr. 46  
**09117 Chemnitz**

Stelle für Gebietsgeologie  
am StUFA Bautzen  
Postfach 13 43  
**02603 Bautzen**

Bergamt Hoyerswerda  
Industriegeländestr. E  
**02977 Hoyerswerda**

Stelle für Gebietsgeologie  
am StUFA Plauen  
Bahnhofstr. 46-48  
**08523 Plauen**

Stelle der Gebietsgeologie  
Am StUFA Chemnitz  
Postfach 10 24  
**09010 Chemnitz**

Stelle für Gebietsgeologie  
am StUFA Radebeul

Postfach 61

**01436 Radebeul**

<sup>1</sup>)Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz) vom 4. Dezember 1934 (RGBl. I S. 1223) in der Fassung des BGB. III 750-1, geändert durch das Gesetz vom 02.03.1974 (BGBl. I S. 469)

<sup>2</sup>)Verordnung zur Ausführung des Gesetzes über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz) vom 14. Dezember 1934 (RGBl. I S. 1261) in der Fassung des BGBl. III 750-1-1

<sup>3</sup>)Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung und des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit zur Übertragung von Zuständigkeiten nach dem Lagerstättengesetz (VO-LgstG) vom 30. September 1993 (Sächs. GVBl. S. 1262)

<sup>4</sup>)Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 6. Juni 1995 (BGBl. I S. 778)

# Anlage 3 - Probenahmeprotokoll für Abfallstoffe und Haufwerke

Die Entnahme von Proben ist unter Verwendung eines Formblattes gemäß nachfolgend dargestelltem Vordruck zu protokollieren.  
Die zu den Punkten 1 bis 26 gegebenen Erläuterungen sind hierbei zu berücksichtigen.

1. **Betreff/Anlaß/Grund der Probenahme/Veranlasser:**

---

2. **Gemeinde/Ort/Landkreis/Flurstück/Betrieb (Hoch- u. Rechtswerte), Lage:**

---

3. **Art des Abfallstoffes/des Haufwerkes:**

---

4. **Probenahmetag/Uhrzeit/Kennzeichnung der Probe:**

---

5. **Probenehmer/Dienststelle:**

---

6. **Vermutete Schadstoffe/Gefährdungen:**

---

7. **Herkunft des Probenahmematerials/Abfalls:**

---

8. **Beschreibung des Bodenmaterials/Abfalls bei der Probenahme:**

---

9. **Farbe:** \_\_\_\_\_ **Geruch:** \_\_\_\_\_

10. **Festigkeit/Konsistenz/Homogenität/Korngröße:**

---

11. Art und Lagerung, Größe der beprobten Kubatur:

---

12. Lagerungsdauer:

---

13. Einflüsse auf das Bodenmaterial (z. B. Witterung, Niederschläge):

---

14. Wie wurde die Probe entnommen? (Geräte, Anzahl der Einzelproben je Mischprobe, Anordnung der Einzelproben):

---

15. Art des Probegefäßes/Verschuß; Probemenge:

---

16. Anwesend, Zeugen:

---

17. Wurden Vergleichsproben entnommen, ggf. durch wen?

---

18. Beobachtungen bei der Probenahme (z. B. Gasentwicklung, Gerüche, Reaktionen):

---

19. Voruntersuchungen bei der Probenahme, Ergebnis:

---

20. Probenüberführung und Lagerung bis zur analytischen Untersuchung, erfolgte Vorbehandlung:

– Transportdauer mit Datum und Uhrzeit \_\_\_\_\_

– Kühlung (Kühltemperatur?) \_\_\_\_\_

– Vorbehandlung \_\_\_\_\_

21. Untersuchungslabor:

---

22. Sonstige Bemerkungen zur Probenahme:

---

23. Lageskizze (mit Bezeichnung und Anordnung der Probenahmestellen der Einzelproben, Einzeichnung von Deponien, Gewässern, Trinkwassernutzungen, Straßen, Gebäuden u. dergl.)

24. Erläuterungen zur Lageskizze:

---

---

---

25. Hinweise an die Untersuchungsstelle:

---

---

---

26. Ort, Datum, Unterschrift: \_\_\_\_\_

### Probenahmeprotokoll für Abfallstoffe und Haufwerke (Seite 3/3)

#### Erläuterungen zu den Einzelpunkten des Probenahmeprotokolls

zu 1:

Zum Beispiel „Aushub einer Altlastfläche“

zu 2:

Die Probenahmestelle wird durch die oben geforderten Angaben sowie durch eine Lageskizze charakterisiert. Die Probenahmestelle ist so deutlich zu bezeichnen, daß sie jederzeit wieder aufgesucht werden kann.

zu 3.

Zum Beispiel „Auffüllmaterial“, „Ölschlamm“, „mit Lösemitteln kontaminiertes Erdreich“

zu 4:

Die Proben sind durch Datum, Uhrzeit der Probenahme und Kennzeichnung der Probe eindeutig zu bezeichnen.

zu 5:

Der Name des Probenehmers und die genaue Bezeichnung der Dienststelle, bei der der Probenehmer beschäftigt ist, sind an dieser Stelle festzuhalten.

zu 6:

Hier ist festzuhalten, welche Stoffe in Frage kommen und aufgrund welcher Tatsache die Vermutung besteht. Weiter ist evtl. anzugeben, ob z. B. eine Kontamination des Grundwassers, eines Vorfluters o. ä. zu besorgen ist.

zu 10:

Festigkeit/Konsistenz:

Angabe, ob es sich um eine flüssige, schlammige, stichfeste oder feste Probe handelt.

Homogenität:

Hier ist zu beschreiben, ob es sich um einheitliches oder um nicht einheitliches Material handelt.

Korngröße:

Bei einer körnigen Probe ist anzugeben, ob das Material in einheitlicher oder in einer sehr unterschiedlichen Körnung vorliegt, die Größe der Körnung ist anzugeben.

zu 11:

Angaben über Behälter, Schüttung oder sonstige Lagerungsart sowie Angabe über die Menge des beprobten Abfalls.

zu 14:

Hier ist anzugeben, mit welchem Entnahmeverfahren die Probe entnommen wurde. Weiter ist festzuhalten, ob eine Einzel- oder Mischprobe gezogen wurde. Bei der Entnahme einer Mischprobe ist anzugeben, aus wievielen Einzelproben die Mischprobe hergestellt wurde.

zu 15:

Art des Probegefäßes/Verschuß: Angabe, ob Glas- oder Kunststoffgefäß, Art des Verschlusses, z. B. Schliffstopfen oder Schraubverschluß.

Probemenge:

Die Menge der Probe (Volumen, Gewicht ggf. geschätzt) ist an dieser Stelle anzugeben.

zu 16:

Evtl. bei der Probenahme anwesende Zeugen sind mit Namen und Adresse zu benennen.

zu 17:

Angabe von Name und Adresse des Probenehmers und der Untersuchungsstelle.

zu 18:

Gasentwicklung und Reaktionen wie Farbveränderungen oder Wärmeentwicklung sind zu beschreiben.

zu 19:

Zum Beispiel pH-Wert, Prüfung mit Drägerröhrchen und Teststäbchen.

zu 20:

Die Kenntnis der Stabilisierungsmaßnahmen, Transportdauer und Lagerung kann z. B. zur Deutung späterer Änderungen der Probe (Konsistenz, Phasentrennung, Farbe) von Bedeutung sein. Die Kühlung der Probe kann z. B. erforderlich sein.

zu 21:

Name und Adresse

zu 22:

Weitere Informationen, die für die Beurteilung eines Abfalls wichtig sein können, sind hier niederzuschreiben.

zu 23:

Die Lageskizze sollte die in Klammern aufgeführten Angaben enthalten. Die Probenahmestelle so deutlich zu kennzeichnen, daß sie jederzeit wieder aufgesucht werden kann.

zu 24:

Werden Proben z. B. innerhalb eines stillgelegten Betriebes genommen, können hier Angaben darüber gemacht werden, in welchem Produktionsbereich bzw. in welcher Abteilung und an welchem Betriebspunkt die Probe entnommen wurde.

zu 25:

Zum Beispiel Hinweise zum Untersuchungsumfang und zu welchem Zweck die Untersuchung vorgenommen werden soll.

zu 26:

Ort, Datum – wann das Protokoll bearbeitet wurde – und die Unterschrift sind einzusetzen.

## Anlage 4 - Gefäßtypen für die Probenahme

- Gefäßtyp 1:

Glas – Schliff-Standflaschen-Weithals mit Normschliff (NS) nach DIN 12029 mit NS-Glasstopfen in Klar- und Braunglas, Nennvolumen: 500 ml und 1000 ml.

- Gefäßtyp 2:

Glas – Weithals-Gewindegläser mit Gewinde nach DIN 168 (Rundgewinde) in Klar- und Braunglas und schwarzer Verschlusskappe mit Polyethylen-Einlage, Nennvolumen: 500 ml und 1000 ml.

Achtung: Diesen Gefäßtyp gibt es nur als Kalk-Soda-Glas. Statt der Polyethylen-Einlage sind als Dichtungsmaterial auch PTFE-beschichtete Butylgummischeiben lieferbar.

- Gefäßtyp 3:

Glas – Laborstandflaschen nach ISO 4796 mit Gewinde nach DIN 168 (Rundgewinde) in Klar- und Braunglas, Nennvolumen: 500 ml und 1000 ml (Achtung: DIN- Gewinde für beide Größen GL 45) und folgenden Verschlusskappen:

Schraubverschlusskappen und Ausgießringe aus Polypropylen (PP), stabil von -40 °C bis +140 °C.

Schraubverschlusskappen aus Polybutylenterephthalat (PBT) mit PTFE-beschichteter Dichtung, stabil von -45 °C bis +200 °C und Ausgießringe aus Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE), stabil von -100 °C bis +140 °C.

- Gefäßtyp 4:

Polyethylen und PMP-Weithalsflaschen aus dem sog. „Nalgene“-Programm bestehend aus transparentem und braunem Hochdruckpolyethylen (HDPD, stabil von -50 °C bis +105 °C), transparentem Niederdruckpolyethylen (LDOE, stabil von -50 °C bis +80 °C) sowie transparentem Poly-4-Methylpen-ten-1 (PMP, stabil von ± 0 °C bis +175 °C). Die Verschlüsse bestehen grundsätzlich aus Polypropylen (PP, stabil von 0 °C bis + 135 °C). Nennvolumen 500 ml (Öffnung: 53 mm), 1000 ml (Öffnung: 63 mm).

- Gefäßtyp 5:

Polyethylen – HDPE-Weithalsflaschen, naturfarbig mit Gewinde nach DIN 168 (Rundgewinde), Nennvolumen: 500 ml (Gewindegröße: GL 50) und 1000 ml (Gewindegröße: GL 65).

- Gefäßtyp 6:

Polypropylen – Dosen, auslaufsicher und stapelbar mit Schraubverschluß aus PP, Nennvolumen: 500 ml und 1000 ml (Schraubverschluß-Durchmesser jeweils 120 mm).

- Gefäßtyp 7:

Polyethylen – Fässer aus HDPE mit Standarddeckel und Spannring, Nennvolumen: 30 l und 60 l (bis 220 l lieferbar).

- Gefäßtyp 8:

Edelstahl – Eimer mit Deckel, Nennvolumen: 5 l und 10 l.

- Gefäßtyp 9:

Glas – Schliff-Standflaschen-Enghals mit Normschliff (NS) nach DIN 12036 mit NS-Glasstopfen in Klar- und Braunglas, Nennvolumen: 100 ml, 500 ml und 1000 ml.

- Gefäßtyp 10:

Glas – Enghals-Gewindegläser (sog. Verpackungsflaschen EHV) mit Gewinde nach DIN 168 (Rundgewinde) in Klar- und Braunglas und schwarzer Verschlußkappe mit Polyethylen-Einlage, Nennvolumen: 100 ml, 500 ml und 1000 ml.

Achtung: Diesen Gefäßtyp gibt es nur als Kalk-Soda-Glas. Statt der Polyethylen-Einlage sind als Dichtungsmaterial auch PTFE-beschichtete Butylgummischeiben lieferbar.

- Gefäßtyp 11:

Glas – Laborstandflaschen nach ISO 4796 mit Gewinde nach DIN 168 (Rundgewinde) in Klar- und Braunglas, Nennvolumen: 100 ml, 500 ml und 1000 ml (Achtung: DIN Gewinde für beide Größen GL 45) und folgenden Verschlußkappen:

Schraubverschlußkappen und Ausgießringe aus Polypropylen (PP), stabil von -40 °C bis +140 °C.

Schraubverschlußkappen aus Polybutylenterephthalat (BPT) mit PTFE-beschichteter Dichtung, stabil von -45 °C bis +200 °C und Ausgießringe aus Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE), stabil von -100 °C bis +140 °C.

- Gefäßtyp 12:

Polyethylen und PMP – Enghalsflaschen aus dem sog. „Nalgene“-Programm bestehend aus transparentem und braunem Hochdruckpolyethylen (HDPE, stabil von -50 °C bis +105 °C), transparentem Niederdruckpolyethylen (LDPE, stabil von -50 °C bis +80 °C) sowie transparentem Poly-4-Methylpenten-1 (PMP, stabil von ± 0 °C bis +175 °C). Die Verschlüsse bestehen grundsätzlich aus Polypropylen (PP, stabil von ± 0 °C bis +135 °C). Nennvolumen: 125 ml (Öffnung: 24 mm), 500 ml (Öffnung: 28 mm), 1000 ml (Öffnung: 38 mm).

- Gefäßtyp 13:

Polyethylen – HDPE-Weithalsflaschen, naturfarbig mit Gewinde nach DIN 168 (Rundgewinde), Nennvolumen: 100 ml (Gewindegröße: GL 18), 500 ml (Gewindegröße: GL 25) und 1000 ml (Gewindegröße: GL 28).

- Gefäßtyp 14:

Teflon Enghalsflaschen aus Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer (FEP, stabil von -270 °C bis +250 °C) mit Schraubverschlüssen bestehend aus Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE, stabil von -100 °C bis +150 °C) in transparent oder schwarze (undurchlässig für sichtbares und UV-Licht), Nennvolumen: 125 ml, 500 ml und 1000 ml.

Erläuterung: Die Materialien sind hoch chemikalienbeständig, korrosionsfest und mit Salpetersäure auskochbar (d. h. Eignung für Ultraspurenanalysen von Metallionen).

- Gefäßtyp 15:

Glas – Probengläser mit Rollrand (Rollrandflaschen), evtl. mit konisch zugeschliffenem Innenteil und Schraubgewinde sowie als Schnappdeckelgläser, Nennvolumen: 0,1 ml bis 100 ml. Für Wasserproben gängig: 10 ml und 20 ml, für Gasproben gängig: 5 ml, 10 ml und 20 ml. Diese Rollrandflaschen mit Aluminium-Bördelkappen mit und ohne Dichtscheiben (Septen) werden auch als „Head-space“-Gefäße bezeichnet.

Als Verschlüsse sind erhältlich:

Aluminium-Bördelkappen mit und ohne Dichtscheiben (Septen). Die Dichtscheiben bestehen aus folgenden Materialien: Butylgummi (PTFE-kaschiert), Silikongummi (PTFE-kaschiert), PTFE.

Schraubkappen mit Dichtscheiben (Materialien analog Aluminium-Bördelkappen).

Achtung: Sämtliche Probengläser sind sowohl als Borsilikatgläser als auch als Kalk-Soda-Gläser erhältlich.

- Gefäßtyp 16:

Kunststoff- oder Glasadsorber-Röhrchen unterschiedlicher Bauart mit folgenden Füllungen: RP-Phasen, A-Kohle, Tenax, Silikagel, chemisch modifizierte Silikagele, PU-Schaum etc.

- Gefäßtyp 17:

Glas – Gasmäuse (Gasprobenrohre oder auch Gas-Sammelrohre) nach DIN 12473 T1, Nennvolumen: 0,5 l oder 1 l.

Schraubkappen mit Dichtscheiben (Materialien analog Aluminium-Bördekkappen).

Achtung: Sämtliche Probengläser sind sowohl als Borsilikatgläser als auch als Kalk-Soda-Gläser erhältlich.

- Gefäßtyp 18:

Glas – Pasteurpipetten zum Einmalgebrauch mit 60 bzw. 140 mm langer Kapillare (zuschweißbar), Kapillar-Innendurchmesser: 1,1 mm, Nennvolumen: jeweils 2 ml. Diese Pipetten sind nur in Kalk-Soda-Glas lieferbar.

- Gefäßtyp 19:

Glasadsorber-Röhrchen unterschiedlicher Bauart mit folgenden Füllungen: RP-Phasen, A-Kohle, Tenax, Silikagel, chemisch modifizierte Silikagele, PU-Schaum etc.

## Anlage 5 - Reinigung von Probengefäßen aus Glas

Entleerte oder neue Gefäße, sofern nicht blindwertfrei<sup>1</sup>  
(incl. Glas-Schliffstopfen)



3 x mit destilliertem Wasser spülen  
(Volumen der destillierten Wassermenge = ca. 20 % des  
Nennvolumens des Gefäßes)



Reinigung und Entfettung der Gefäße mit einer für Laborgefäße geeigneten wäßrigen Lösung aus einem tensidhaltigen Industriereiniger. Die Reinigung erfolgt durch ausreichende Lagerzeit der Gefäße in der Lösung oder durch mechanische, manuelle Reinigung. Der Einsatz moderner Laborspülmaschinen ist ebenfalls möglich. Bei sehr hartnäckigen Verunreinigungen können zusätzlich manuelle Reinigungsmaßnahmen mit modernen, partikelfreien, haushaltsüblichen Spezialreinigungsmitteln vorgenommen werden.



3 x mit destilliertem Wasser nachspülen.  
(Volumen der destillierten Wassermenge = ca. 20 % des Nennvolumens des Gefäßes)



1 x mit Aceton (technisch, p. a. oder sonstiger Qualität) nachspülen.  
(Volumen des Acetons = ca. 5-10 % des Nennvolumens des Gefäßes)



Trocknung der Gefäße im Umlufttrockenschrank bei 80 °C.



Achtung: Schliffgefäße oder Schliffstopfen im Umlufttrockenschrank bei 30 °C trocknen.



Die Gefäße müssen nach der Reinigung in bezug auf den oder die Prüfparameter blindwertfrei sein. Dies ist meßtechnisch zu prüfen und für die gereinigte Charge an Probengefäßen zu protokollieren.

## Anlage 6 - Reinigung von Probengefäßen aus Polyethylen oder anderen PTFE-freien Kunststoffen

Entleerte oder neue Gefäße, sofern nicht blindwertfrei<sup>1</sup>



3 x mit destilliertem Wasser spülen

(Volumen der destillierten Wassermenge = ca. 20 % des Nennvolumens des Gefäßes)



Reinigung und Entfettung der Gefäße mit einer für Laborgefäße geeigneten wäßrigen Lösung aus einem tensidhaltigen Industriereiniger. Die Reinigung erfolgt durch ausreichende Lagerzeit der Gefäße in der Lösung oder durch mechanische, manuelle Reinigung. Der Einsatz moderner Laborspülmaschinen ist ebenfalls möglich. Bei sehr hartnäckigen Verunreinigungen können zusätzlich manuelle Reinigungsmaßnahmen mit modernen, partikelfreien, haushaltsüblichen Spezialreinigungsmitteln vorgenommen werden.



3 x mit destilliertem Wasser nachspülen.

(Volumen der destillierten Wassermenge = ca. 20 % des Nennvolumens des Gefäßes)



Trocknung der Gefäße im Umlufttrockenschrank bei 30 °C.



Die Gefäße müssen nach der Reinigung in bezug auf den oder die Prüfparameter blindwertfrei sein. Dies ist meßtechnisch zu prüfen und für die gereinigte Charge an Probengefäßen zu protokollieren.

# Anlage 7a - Probenahme Boden-Formblatt B1

Projektname: \_\_\_\_\_

Kennziffer: \_\_\_\_\_ Teilflächen-Nr.: \_\_\_\_\_ Beweisniveau: \_\_\_\_\_

Probenahmestelle  
bzw. -fläche (bei Mischproben): \_\_\_\_\_

Anzahl der Einzelproben (bei Mischproben): \_\_\_\_\_

Probenahme-Nr.: \_\_\_\_\_

Nr. TK 10      Hochwert: \_\_\_\_\_

                    Rechtswert: \_\_\_\_\_

Datum und Uhrzeit der Probenahme: \_\_\_\_\_

Datum der Anlieferung im Labor: \_\_\_\_\_

    Probenehmer/Sachbearbeiter: \_\_\_\_\_

Witterung z. Z. der Probenahme: \_\_\_\_\_

    Mittlerer Jahresniederschlag: \_\_\_\_\_

    Mittlerer Grundwasserstand: \_\_\_\_\_

    Geologischer Untergrund: \_\_\_\_\_

        Hangneigung: \_\_\_\_\_

        Exposition: \_\_\_\_\_

        Nutzung: \_\_\_\_\_

    Probenahmeart: \_\_\_\_\_

    Bohrdurchmesser: \_\_\_\_\_

Probenvorbehandlung im Gelände: \_\_\_\_\_

    Probenbehältnis: \_\_\_\_\_

Probenahme Boden - Formblatt B1

## Anlage 7b - Probenahme Boden-Formblatt B2

Lageplan/-Skizze

Fotodokumentation

Probenahme Boden - Formblatt B2

# Anlage 7c - Probenahme Boden-Formblatt B3

Schichtenprofil				Probenbeschreibung						
(A) bis m unter Bohransatz- punkt	(B) Benennung und Beschreibung der Schicht			(C) Kompo- nenten	(D) % Anteile	(L) Probenart	(M) Proben-Nr.	(N) Probengerät	(O)Tiefe von bis (m)	(P) Bemerkung
	(E) Boden- art	(F) Farbe	(G) Geruch							
	(H) Kon- sistenz	(I) Humus- gehalt	(K) Skelett							
Schichtenprofil				Probenbeschreibung						
(A)	(B)			(C)	(D)	(L)	(M)	(N)	(O)	(P)
	(E)	(F)	(G)							
	(H)	(I)	(K)							
(A)	(B)			(C)	(D)	(L)	(M)	(N)	(O)	(P)
	(E)	(F)	(G)							
	(H)	(I)	(K)							
(A)	(B)			(C)	(D)	(L)	(M)	(N)	(O)	(P)
	(E)	(F)	(G)							
	(H)	(I)	(K)							
(A)	(B)			(C)	(D)	(L)	(M)	(N)	(O)	(P)
	(E)	(F)	(G)							
	(H)	(I)	(K)							

Datum:

Unterschrift:

## Anlage 8 - Protokoll zum Probentransport

Bezeichnung der Proben: \_\_\_\_\_

Probentransporteur: \_\_\_\_\_

- Firma (Anschrift): \_\_\_\_\_
- Name des verantw. Mitarbeiters: \_\_\_\_\_

Transportfahrzeug (Typ usw.): \_\_\_\_\_

Temperatur beim Transport:

- Raumtemperatur
- Zwischen 4 und 25 °C
- Kühlung bei 4 °C
- Tiefkühlung bei -20 °C

Lichtverhältnisse beim Transport:

- hell
- dunkel

Proben übernommen von:

- Firma (Anschrift): \_\_\_\_\_
- Name des verantw. Mitarbeiters \_\_\_\_\_
- Datum/Uhrzeit \_\_\_\_\_

Proben übergeben an:

- Firma (Anschrift): \_\_\_\_\_
- Name des verantw. Mitarbeiters: \_\_\_\_\_
- Datum/Uhrzeit: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_ Unterschrift des Transporteurs: \_\_\_\_\_

Protokoll zum Probentransport

## Anlage 9 - Verzeichnis der Abkürzungen zum Teil Grundwasser

Indizes:	A	– Abstrom, z. B. $c_A$ , $Q_A$
	KGW	– Kontaktgrundwasser, z. B. $c_{KGW}$ , $Q_{KGW}$
	GW	– Grundwasser, z. B. $c_{GW}$ , $Q_{GW}$
	Z	– Zustrom, z. B. $c_Z$ , $Q_Z$
	ZT	– Zustromanteil, z. B. $Q_{ZT}$
	SH	– Gefahren- bzw. Schadensherd, z. B. $c_{SH}$ , $Q_{SH}$
	SiWa	– Sickerwasser, z. B. $c_{SiWa}$ , $Q_{SiWa}$
a	–	durch einen Pumpversuch nach der Pumpversuchsdauer $t_{PV}$ erfaßte Abstrombreite rechtwinklig zur Grundwasserfließrichtung [m]
$A_A$	–	Grundwasser-Querschnittsfläche im unmittelbaren Abstrom des Gefahren- bzw. Schadensherdes $A_A = B_A h_{GW}$ [m <sup>2</sup> ]
$A_{KGW}$	–	Grundwasser-Querschnittsfläche, die der Kontaktgrundwasser-Volumenstrom durchfließt [m <sup>2</sup> ]
$A_{SiWa}$	–	Grundfläche des Gefahren- bzw. Schadensherdes, die der Sickerwasser-Volumenstrom durchsickert [m <sup>2</sup> ]
$B_A$	–	Breite der Grundwasser-Querschnittsfläche $A_A$ [m]
BN	–	Beweisniveau i. S. d. ALHB
c	–	Konzentration [ $\mu\text{g/l}$ ]
$c_A$		Schadstoffkonzentration im Grundwasser-Abstrom eines Gefahren- bzw. Schadensherdes [ $\mu\text{g/l}$ ]
$c_{KGW}$		Schadstoffkonzentration im Kontaktgrundwasser des Gefahren- bzw. Schadensherdes [ $\mu\text{g/l}$ ]
$c_{SiWa}$		Schadstoffkonzentration im Sickerwasser des Gefahren- bzw. Schadensherdes [ $\mu\text{g/l}$ ]
$c_{SH}$		Überbegriff für $c_{SiWa}$ und $c_{KGW}$ .
	$c_{SH} = c_{SiWa}$	bei Lage des Gefahren- bzw. Schadensherdes in der ungesättigten Zone
	$c_{SH} = c_{KGW}$	bei Lage des Gefahren- bzw. Schadensherdes in der gesättigten Zone
$c_Z$	–	Schadstoffkonzentration im Grundwasser-Zustrom [ $\mu\text{g/l}$ ]
$E_{1-2}$	–	Orientierende Erkundung (OE)
$E_{2-3}$	–	Detailerkundung (DE)

GW	–	Grundwasser
GWL	–	Grundwasserleiter
GWN	–	Grundwasserneubildung [mm/a]
$h_{GW}$	–	Grundwasser-Mächtigkeit [m]
$h_{KGW}$	–	Kontaktgrundwasser-Mächtigkeit [m]
$I$	–	Grundwassergefälle [-]
$k_f$	–	Durchlässigkeitsbeiwert für Grundwasser [m/s]
KGW	–	Kontaktgrundwasser: Grundwasser im Kontaktbereich mit kontaminiertem Material des Gefahren- bzw. Schadensherdes
$n$	–	Anzahl der Grundwassermeßstellen [-]
$n_f$	–	durchflußwirksamer Hohlraumanteil [-]
P-W	–	Prüfwert zum Schutz von Grundwasser vor Schadstoffeinträgen aus kontaminiertem Boden bzw. Ablagerungsgut [ $\mu\text{g/l}$ ]
$Q_A$	–	Grundwasser-Volumenstrom über die Breite des Gefahren- bzw. Schadensherdes in dessen direktem Abstrom. $Q_A$ enthält $Q_{SH}$ [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]
$Q_{KGW}$	–	Kontaktgrundwasser-Volumenstrom über die Breite des Gefahren- bzw. Schadensherdes in dessen direktem Abstrom [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]
$Q_{PV}$	–	Grundwasser-Entnahmerate bei einem Pumpversuch [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$Q_{SiWa}$	–	Sickerwasser-Volumenstrom, der nach Durchsickerung von kontaminiertem Material des Gefahren- bzw. Schadensherdes dem Grundwasser zuströmt [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]
$Q_{SH}$	–	Überbegriff für $Q_{KGW}$ und $Q_{SiWa}$ Sickerwasser-Volumenstrom $Q_{SiWa}$ bzw. Kontaktgrundwasser-Volumenstrom $Q_{KGW}$ , der nach Durchsickerung von bzw. Kontakt mit kontaminiertem Material dem Grundwasser zufließt [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]
$Q_Z$	–	Grundwasser-Volumenstrom über die Breite des Gefahren- bzw. Schadensherdes in dessen Zustrom [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]
$Q_{ZT}$	–	Teilstrom von $Q_Z$ , der nicht den Gefahren- bzw. Schadensherd durchströmt [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]
$T$	–	Transmissivität [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
$t_{PV}$	–	Pumpversuchsdauer [h]
$v_f$	–	Filtergeschwindigkeit nach DARCY [m/s]
$x, y$	–	Ortskoordinaten [m]

# Anlage 10 - Vorgehensweise zur Aufstellung des Hydrogeologischen Arbeitsmodells

Hydrogeologisches Arbeitsmodell											
Hydrogeologische Parameter											
	BN 1/Planung E <sub>1,2</sub> (vermutet)			BN 2 (orientiert)			BN 3 (abgesichert)				
	min.	mittel	max.	min.	mittel	max.	min.	mittel	max.	plausibel	
<b>Geometrie</b>											
A <sub>SUW</sub> [m <sup>2</sup> ]											
B <sub>A</sub> [m]											
h <sub>KUW</sub> [m]											
A <sub>A</sub> [m <sup>2</sup> ]	B <sub>A</sub> · h <sub>KUW</sub>										
h <sub>KUW</sub> [m]											
A <sub>KUW</sub> [m <sup>2</sup> ]	B <sub>A</sub> · h <sub>KUW</sub>										
<b>Hydraulik</b>											
Fließrichtung [°]											
T [m <sup>2</sup> /s]											
k <sub>f</sub> [m/s]											
l [-]											
n <sub>f</sub> [-]											
a [m]	Der Berechnungsansatz ist anzugeben										
Q <sub>ev</sub> [m <sup>3</sup> /s]											
t <sub>ev</sub> [h]											
<b>Volumenströme</b>											
Q <sub>A</sub> [m <sup>3</sup> /d]	$k_f \cdot A_A \cdot l \cdot 86400$										
Q <sub>SUW</sub> [m <sup>3</sup> /d]	$\frac{A_{KUW} \cdot GWN}{386000}$										
Q <sub>KUW</sub> [m <sup>3</sup> /d]	$k_f \cdot A_{KUW} \cdot l \cdot 86400$										
Q <sub>SU</sub> [m <sup>3</sup> /d]	Q <sub>SUW</sub> bzw. Q <sub>KUW</sub> oder Q <sub>SUW</sub> + Q <sub>KUW</sub>										
Q <sub>ZT</sub> [m <sup>3</sup> /d]	Q <sub>A</sub> - Q <sub>SU</sub>										
GWN [mm/a]											

Vorgehensweise zur Aufstellung des Hydrogeologischen Arbeitsmodells

# Anlage 11 - Geräte zur Entnahme von Wasserproben

## 1 Saugpumpen

Sauggeräte können im allgemeinen nur bis zu einem Flurabstand von 8 m eingesetzt werden. Zudem werden gelöste gasförmige Inhaltsstoffe (Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, z. T. Ammoniak, aromatische KW, LHKW) durch den erzeugten Unterdruck ausgegast, was eine quantitative Bestimmung dieser Stoffe unmöglich macht.

### 1.1 Kolbenprober

Prinzip:

Der Kolbenprober ist ein einfaches, handbetätigtes Gerät, das sich aus einem Glas- oder Kunststoffzylinder, einem Kolben, zwei Schlauchventilen, einem T-Stück und passenden Schläuchen zusammensetzt.

Förderleistung:

Förderleistungen sind gering, und liegen bei 0,05-0,5 l/min.

Einsatzbereich:

Der Einsatz kommt nur in Frage, wenn alle anderen Probenahmegeräte versagen, d. h. bei der Entleerung von Saugkerzen in der ungesättigten Zone oder, wenn der Rohrdurchmesser zu eng bzw. der Zufluß sehr gering ist. Bei einem Flurabstand größer als 4 m ist der Einsatz ausgeschlossen. Kolbenprober sind zur Entnahme von Sterilproben geeignet, da sie mit Desinfektionsmitteln leicht keimfrei gemacht werden können. Bei der Verwendung von autoklavierten Silikonschläuchen können Sterilproben aus jeder beliebigen Tiefe genommen werden, solange der Flurabstand nicht größer als 4 m ist. Der Einfluß des Desinfektionsmittel auf die Probe ist zu beachten.

### 1.2 Motorsaugpumpen

Prinzip:

Tragbare Motorsaugpumpen sind Kreiselpumpen, die entweder elektrisch oder mit Verbrennungsmotor betrieben werden.

Förderleistung:

Die maximale Förderleistung beträgt 30-180 l/min bei geringen Förderhöhen.

Einsatzbereich:

Der maximale Flurabstand darf 8 m nicht überschreiten. Bei größeren Entnahmetiefen (>3 m) ist ein Fußventil am Ende des Saugschlauches erforderlich.

Betrieb:

Ein Ablassschraubstopfen zum Entleeren und Abtrocknen des Pumpgehäuses ist vorteilhaft. Kreiselpumpen sind vor Inbetriebnahme mit Wasser zu füllen, da die Pumpen in der Regel nicht selbstansaugend sind. Dies geschieht durch das Entlüften des Pumpensystems über den Kreislauf: Wassereimer – Entnahmeschlauch – Pumpe – Auslaufschlauch – Wassereimer. Danach ist bei mittlerer Umdrehungszahl der Auslaufhahn zu schließen und der Entnahmeschlauch rasch in das Entnahmerohr einzuführen. Anschließend sind die Motordrehzahl zu erhöhen und der Auslaufhahn zu öffnen. Durch Regelung der Motordrehzahl und der Stellung des Auslaufhahns ist die Förderleistung der Ergiebigkeit der Entnahmestelle anzupassen.

### **1.3 Tiefsauger**

Prinzip:

Tiefsauger sind Probenahmegeräte, die nach dem Wasserstrahl-Pumpen-Prinzip arbeiten. Das Kernstück ist die Saugdüse, die in das Probenahmerohr an 2 Schläuchen oder an einem Doppelschlauch eingelassen wird. Mit einer starken Motorpumpe wird zunächst Fremdwasser mit hoher Geschwindigkeit durch einen Schlauch nach unten zur Düse gepumpt. Dieses Treibwasser saugt über einen Saugkorb Wasser aus dem Grundwasserleiter an und drückt es über die Steigleitung in einen Entlastungsbehälter. Nachteilig ist, daß Fremdwasser verwendet wird, daher darf die Probenahme erst beginnen, wenn das zuerst eingesetzte Fremdwasser vollständig beseitigt worden ist. Dieser Punkt kann über die Leitfähigkeitskontrolle bestimmt werden.

Förderleistung:

Die Förderleistung hängt entscheidend von dem Druck an der Düse sowie vom Flurabstand ab. Unter günstigen Bedingungen kann bei einem Flurabstand von 30 m eine Förderleistung von 5,5 l/min erreicht werden.

Einsatzbereich:

Tiefsauger werden bei großen Flurabständen und engen Rohren eingesetzt. Nachteilig ist die schwierige Handhabung für Ungeübte und die Empfindlichkeit gegen Verschmutzung.

## **2 Unterwasserpumpen**

Bei Unterwasserpumpen wird das Wasser durch eine Unterwasserpumpe nach oben gedrückt. Damit steht das Wasser bis zum Auslauf immer unter einem höherem Druck als der Atmosphärendruck, was eine Ausgasung der gasförmigen Wasserinhaltsstoffe weitgehend verhindert. Daher sind diese Pumpen in der Praxis den Saugpumpen vorzuziehen.

### **2.1 Tauchmotorpumpen**

Prinzip:

Tauchmotorpumpen sind Kreiselpumpen, die mit einem elektrischen Unterwassermotor betrieben werden. Das zum Antrieb erforderliche Stromaggregat muß eine gewisse Reserveleistung besitzen, da die Anlaufleistung der Pumpe bedeutend höher liegen kann als die Dauerleistung. Die kleinsten Pumpen haben eine Leistungsaufnahme von 370 Watt.

Förderleistung:

Je nach Hersteller und Modell gibt es für fast jeden Rohrdurchmesser, jede Förderhöhe und jede Förderleistung die passende Pumpe. Die Leistungsdaten sind dem entsprechenden Leistungsdiagramm zu entnehmen.

Einsatzbereich:

In der Praxis sollten möglichst Tauchmotorpumpen zur Probenahme verwendet werden. Begrenzt einsetzbar sind diese Pumpen bei Grundwassermeßstellen ohne ausreichenden Grundwasserzufluß, bei denen die Pumpe trockenfallen kann.

## **2.2 Kolbenprober**

Prinzip:

Diese elektrischen Pumpen bestehen aus einem Hohlkolben, der in einer wechselstromgespeisten Spule auf- und niederschwingt und über zwei Ventile Wasser fördert. Durch die geringe Leistungsaufnahme kann diese Pumpe auch über einen Wandler mit der Autobatterie betrieben werden.

Förderleistung:

Die Förderleistung ist mit maximal 2-9 l/min gering. Maximale Förderhöhe liegt bei 65 m.

Einsatzbereich:

Wegen der geringen Förderleistung sind Schwingkolbenpumpen gut geeignet für Redoxmessungen mit Durchflußzellen, für die Bestimmung der Durchgangskurve eines Markiermit und für das Abschnüffeln der Schadstoffphase bei Schadensfällen mit Mineralöl oder Lösungsmitteln. Im letzteren Fall muß ein Verlängerungsschlauch mit einem Ansaugfilter in die Lösungsmittelphase eintauchen, da sonst der Kabelwerkstoff aufgelöst wird. Bei einer Reinigung der Pumpe mit 70%igem Alkohol sind auch bakteriologische Untersuchungen durchführbar. Wegen der geringen Förderleistung ist auf ein ausreichend langes Abpumpen zu achten.

## **2.3 Kleinst-Tauchmotorpumpen**

Prinzip:

Kleinst-Tauchmotorpumpen sind ursprünglich für den Campingbedarf konstruierte, preiswerte Kreiselpumpen. Daher werden sie auch Campingpumpen genannt. Die Pumpen sind nicht selbstansaugend und müssen vollständig geflutet werden. Sie werden mit 12 V oder 24 V Gleichstrom betrieben und können an die Autobatterie oder einen Akku

angeschlossen werden. Bei längeren Kabeln ist der Spannungsabfall aufgrund der geringen Spannung zu beachten. Eine geringe Überspannung oder ein größerer Leiterquerschnitt sind von Vorteil.

Förderleistung:

Je nach Gerät beträgt die maximale Förderleistung bei 0 m Förderhöhe 3-14 l/min. Maximale Förderhöhen liegen je nach Modell bei 8-55 m, wobei dann die Förderleistung bei ca. 2 l/min liegt.

Einsatzbereich:

Diese Pumpen werden vor allem bei Meßstellen mit geringem Flurabstand und geringem Rohrdurchmesser eingesetzt. Größere Flurabstände können durch eine Kombination mehrerer Pumpen überwunden werden.

## **2.4 Hubkolbenpumpen**

Prinzip:

Diese Pumpen arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip und bestehen aus einem Hohlzylinder mit Ein- und Auslaßventil, in dem sich ein Kolben bewegt. Der Antrieb des Kolbenhubs von ca. 40 cm erfolgt durch einen Elektro- oder Benzinmotor über ein Seil, das in einem Rohr läuft.

Förderleistung:

Bei 30 m Flurabstand werden ungefähr 15 l/min gefördert.

Einsatzbereich:

Für den mobilen Einsatz sind diese Pumpen, aufgrund konstruktionsbedingter Nachteile (Seil in starrem Kunststoffschlauch) wenig geeignet. Mehr als 50 m Einlaßtiefe ist bei einer Seil-Schlauch-Kombination wegen der Seil- und Schlauchdehnung nicht sinnvoll. Für den stationären Betrieb mit verschraubten Steigrohren ist jedoch ein wenig störanfälliger Betrieb gewährleistet.

## **2.5 Druckluft- oder Impulspumpen**

Prinzip:

Die Energiezufuhr bei diesen Pumpen, die nach dem Verdrängungsprinzip arbeiten, erfolgt durch Preßluft. Das geförderte Wasser kommt mit der Preßluft nicht in Berührung. Bei geringen Förderhöhen kann die Preßluftversorgung über Stahlflaschen erfolgen. Sonst werden Kompressoren eingesetzt, Es werden drei Schläuche in die Meßstelle eingeführt: Preßluft-, Abluft- und Förderleitung.

Förderleistung:

Die Förderhöhe kann 100 m und mehr betragen. Förderleistungen betragen bis zu 30 l/min.

Einsatzbereich:

Diese Pumpen sind geeignet für enge und tiefe Meßstellen. Es ist vorteilhaft, diese Technik mit zwei Personen zu betreiben.

# Anlage 12 - Konservierung von Wasserproben

## I) Anorganische Parameter

Parameter	Konservierungsverfahren (Nur anzugeben sofern Abweichung von der Norm oder in der Norm nicht enthalten)	Bemerkungen	Norm
Aluminium (Al)	1) Gesamt-Al: 1 l Probe mit 1 ml Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ , $p = 1,40$ g/ml) ansäuern. 2) Al-gelöst: Probe durch einen Membranfilter (Porenweite 0,45 $\mu\text{m}$ ) filtrieren und 1 l Wasserprobe mit 10 ml Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ , $p = 1,40$ g/ml) ansäuern. Der pH-Wert muß $<2$ sein.	Es ist zwischen der Bestimmung Gesamt-Aluminium und Aluminium-gelöst zu differenzieren.	DIN 38406, Teil 25
Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )	Proben möglichst sofort analysieren. Ist dies nicht möglich, Schwefelsäure, $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $p$ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) = 1,84 g/l bis zum pH-Wert von etwa 2 zusetzen, dunkel lagern und innerhalb 24 h analysieren.		DIN 38406, Teil 23
Antimon	Keine Methode zur Konservierung der Probe empfohlen.		
Arsen (As)	Je Liter Probe werden zugesetzt: – 1 ml Salzsäure ( $p = 1,16$ g/ml) oder 1 ml Salpetersäure ( $p = 1,40$ g/ml). Der pH-Wert muß $<2$ sein.		DIN 38405, Teil 18
Bor	Keine Methode zur Konservierung der Probe empfohlen.		
Cadmium (Cd)	Je Liter Probe werden zugesetzt: – 1 ml Salpetersäure ( $p = 1,40$ g/ml). Der pH-Wert muß $<2$ sein.		DIN 38406, Teil 21
Calcium (Ca) und Magnesium (Mg)	Keine Methode zur Konservierung der Probe empfohlen.		DIN 38406, Teil 3
Chlorocyan-Bestimmung	Konservierung analog Prüfparameter Cyanid gesamt nach DIN 38405, Teil 13.		DIN 38405, Teil 13
Chlorid	Analog Nitrat, DIN 38405, Teil 20.		DIN 38405, Teil 20
Chrom (Cr)	1) Gesamt-Cr: 1 l Probe mit 1 ml Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ , $p = 1,40$ g/ml) ansäuern. Der pH-Wert muß $<2$ sein, ansonsten die Säurezugabe erhöhen. 2) Cr-gelöst: Probe durch einen Membranfilter (Porenweite 0,45 $\mu\text{m}$ ) filtrieren und 1 l Wasserprobe mit 10 ml Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ , $p = 1,40$ g/ml) ansäuern. Der pH-Wert muß $<2$ sein, ansonsten die Säurezugabe erhöhen.	Es ist zwischen der Bestimmung Gesamt-Chrom und Chrom-gelöst zu differenzieren.	DIN 38406, Teil 10
Chrom (VI)	1) Ohne Berücksichtigung oxidierender und reduzierender Substanzen: Je Liter Probe werden zugesetzt: – 10 ml Pufferlösung (456 g Dikaliumhydrogenphosphat, $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , in 1000 ml Wasser lösen und pH-Wert prüfen und, falls erforderlich, auf 9,0 + 0,2 einstellen. – Probe schütteln und pH-Wert messen. Er soll zwischen 7,5 und 8,0 liegen. – Liegt er außerhalb dieses Bereiches mit Natriumhydroxid-Lösung (20 g Natriumhydroxid, NaOH, in 100 ml Wasser lösen) bzw. Phosphorsäure-Lösung (10 ml o-Phosphorsäure, $p = 1,71$ g/ml, mit Wasser auf 100 ml auffüllen) auf diesen pH-Bereich einstellen. – 1 ml Aluminiumsulfat-Lösung (247 g Aluminiumsulfat 18-hydrat, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ , in 1000 ml Wasser lösen) zusetzen, schütteln und den pH-Wert messen. Er soll zwischen 7,0 und 7,2 liegen. – Liegt er außerhalb dieses Bereiches, mit Phosphorsäure-Lösung (10 ml o-Phosphorsäure, $p = 1,71$ g/ml, mit Wasser auf 100 ml auffüllen) auf diesen pH-Bereich einstellen. 2) Mit Berücksichtigung oxidierender und reduzierender Substanzen: Je Liter Probe werden zugesetzt: Analog Absatz 1) und – 1 ml Sulfidlösung (11,8 g Natriumsulfit, $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , in Wasser lösen, mit Wasser auf 100 ml auffüllen. Die Lösung ist 1 Woche haltbar) zugeben. Mit Sulfid-Testpapier prüfen, ob ein Sulfid-Überschuss vorliegt. Ist dies nicht der Fall, entsprechend mehr Sulfit zugeben.	Man unterscheidet die Probenkonservierung mit und ohne Berücksichtigung oxidierender und reduzierender Substanzen.	DIN 38405, Teil 24

Parameter	Konservierungsverfahren (Nur anzugeben sofern Abweichung von der Norm oder in der Norm nicht enthalten)	Bemerkungen	Norm
Cyanid gesamt	Je Liter Probe werden zugesetzt: 1) Cyanid gesamt gelöst: Probe durch einen Membranfilter (Porenweite 0,45 µm) filtrieren: - 7 ml Natriumhydroxid-Lösung, c(NaOH) = 1 mol/l. - 1 ml Zinn(II)chlorid-Lösung (50 g Zinn(II)chlorid, SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O, und 40 ml Salzsäure, c(HCl) = 1 mol/l in 100 ml Lösung, Stabilität der Lösung: ca. 1 Woche!). - 10 ml Zinksulfat-Lösung (100 g Zinksulfat, ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O in 1 l dest. Wasser lösen). 2) Cyanid gesamt gelöst und ungelöst: Homogenisierte Probe: - 7 ml Natriumhydroxid-Lösung, c(NaOH) = 1 mol/l. - 1 ml Zinn(II)chlorid-Lösung (50 g Zinn(II)chlorid, SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O, und 40 ml Salzsäure, c(HCl) = 1 mol/l in 100 ml Lösung, Stabilität der Lösung: ca. 1 Woche!). - 10 ml Zinksulfat-Lösung (100 g Zinksulfat, ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O in 1 l dest. Wasser lösen).	Es ist zwischen der Bestimmung Cyanid gesamt gelöst und Cyanid gesamt gelöst und ungelöst zu differenzieren.	DIN 38405, Teil 14
Cyanid leicht freisetzbar	Konservierung analog Prüfparameter Cyanid gesamt gelöst und Cyanid gesamt gelöst und ungelöst nach DIN 38405, Teil 14.		DIN 38405, Teil 14
Eisen (Fe)	1) Gesamt-Fe: 1 l Probe mit 10 ml Schwefelsäure (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , ρ = 1,84 g/ml im Verhältnis 1:3 mit Wasser verdünnt) ansäuern. Der pH-Wert sollte etwa 1 betragen. 2) Summe Fe (II) und Fe(III), jeweils gelöst: Probe durch einen Membranfilter (Porenweite 0,45 µm) filtrieren und 1 l Wasserprobe mit 10 ml Schwefelsäure (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , ρ = 1,84 g/ml im Verhältnis 1:3 mit Wasser verdünnt) ansäuern. Der pH-Wert sollte etwa 1 betragen. 3) Fe(II)-gelöst: In eine sog. 1 l „Sauerstoff-Flasche“ (Glasflasche mit abgeschrägtem Glasstopfen) werden 10 ml Schwefelsäure (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , ρ = 1,84 g/ml im Verhältnis 1:3 mit Wasser verdünnt) vorgelegt und die Probe eingefüllt.	Es ist zwischen der Bestimmung Gesamt-Eisen (Fe gelöst und ungelöst), Summe Fe(II) und Fe(III), jeweils gelöst und Bestimmung von Fe(II)-gelöst zu differenzieren.	DIN 38406, Teil 1
Kalium (K)	Die Wasserprobe mit einem Membranfilter (Porenweite 0,45 µm) filtrieren. Je Liter Probe werden zugesetzt: - 2 ml Salzsäure (ρ(HCl) = 1,16 g/ml). Der pH-Wert muß <2 sein, ansonsten ist weitere Säure zuzugeben.		DIN 38406, Teil 13
Magnesium (Mg)	Keine Methode zur Konservierung der Probe empfohlen.		DIN 38406, Teil 2
Mangan (Mn)	Je Liter Probe werden zugesetzt: - 10 ml Schwefelsäure (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , ρ = 1,84 g/ml im Verhältnis 1:3 mit Wasser verdünnt). Der pH-Wert sollte etwa 1 betragen.		DIN 38406, Teil 2
Natrium (Na)	Die Wasserprobe mit einem Membranfilter (Porenweite 0,45 µm) filtrieren. Je Liter Probe werden zugesetzt: - 2 ml Salzsäure (ρ(HCl) = 1,16 g/ml). Der pH-Wert muß <2 sein, ansonsten ist weitere Säure zuzugeben.		DIN 38406, Teil 14
Nitrat	Zur Vorbehandlung der Proben hat sich z. B. der Zusatz des folgenden Eluentenkonzentrats bewährt: - In einem Melkolben, Nennvolumen 1000 ml, 25,4 g Natriumcarbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) und 25,2 g Natriumhydrogencarbonat (NaHCO <sub>3</sub> ) einwiegen, in Wasser lösen und mit Wasser (elektr. Leitfähigkeit <0,1 µS/cm) und filtriert über Membranfilter, Porenweite 0,45 µm bis zur Marke auffüllen. Die Lösung enthält 0,24 mol/l Natriumcarbonat und ist gekühlt (4 bis 6 °C) mehrere Monate haltbar.		DIN 38405, Teil 20
Phosphat	Analog Nitrat, DIN 38405, Teil 20.		DIN 38405, Teil 20

### Konservierung von Wasserproben - anorganische Parameter (Seite 2/3)

Parameter	Konservierungsverfahren (Nur anzugeben sofern Abweichung von der Norm oder in der Norm nicht enthalten)	Bemerkungen	Norm
Quecksilber (Hg)	Für alle Verfahrensvarianten dieses Normenentwurfes werden je Liter Probe vorgelegt: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 ml Stabilisierungslösung (5 g Kaliumdichromat, <math>K_2Cr_2O_7</math>, in 500 ml Salpetersäure (<math>p(HNO_3) = 1,40 \text{ g/ml}</math>) lösen und die Lösung mit Wasser auf 1000 ml auffüllen).</li> <li>Die Probe soll einen pH-Wert von ca. 1 haben.</li> <li>Falls erforderlich sollte weitere Stabilisierungslösung zugegeben werden (Beachte: Volumenkorrektur bei der Auswertung).</li> <li>- Soll zwischen gelöstem und ungelöstem Hg entschieden werden, die Wasserprobe vor dem Ansäuern über einen Membranfilter, Porenweite <math>0,45 \mu\text{m}</math>, filtrieren.</li> </ul>	Die Anwesenheit von überschüss. Dichromat kann ggf. durch Tüpfelprobe mit Diphenylcarbazid-Lösung (1 g 1,5-Diphenylcarbazid, DPC, $CO(NHNHC_6H_5)_2$ , in 100 ml Aceton lösen und mit einem Tropfen konz. Essigsäure ansäuern; die Lösung in eine Braunglasflasche abfüllen) geprüft werden.	Entwurf DIN 38406, Teil 12
Sulfat	Analog Nitrat, DIN 38405, Teil 20		DIN 38405, Teil 20
Sulfid ( $S^{2-}$ ) gelöst	1) leicht filtrierbare Wässer: <ul style="list-style-type: none"> <li>- In einen Meßkolben, Nennvolumen 50 ml, 5 ml Ascorbat-Lösung (10 g Ascorbinsäure, <math>C_6H_8O_6</math>, in 90 ml Wasser lösen und mit Natriumhydroxid-Lösung (<math>NaOH</math>, <math>\omega = 32 \%</math>, <math>c(NaOH)</math> etwa 10 mol/l) auf einen pH-Wert von <math>10 \pm 0,1</math> einstellen, Flasche sofort verschließen.</li> <li>Lösung jeweils vor Gebrauch frisch ansetzen) pipettieren.</li> <li>- Die Wasserprobe in eine Dreiringkolbenspritze, Inhalt 50 ml, einziehen.</li> <li>- Einen Einwegfiltrationsvorsatz (Porenweite <math>0,45 \mu\text{m}</math>) an der Spritze befestigen und so viel Wasserprobe in den Meßkolben filtrieren, bis die Meßmarke erreicht ist.</li> </ul> 2) Schwieriger filtrierbare Wässer: <ul style="list-style-type: none"> <li>- In einen Meßkolben, Nennvolumen 50 ml, 5 ml Ascorbat-Lösung (10 g Ascorbinsäure, <math>C_6H_8O_6</math>, in 90 ml Wasser lösen und mit Natriumhydroxid-Lösung (<math>NaOH</math>, <math>\omega = 32 \%</math>, <math>c(NaOH)</math> etwa 10 mol/l) auf einen pH-Wert von <math>10 \pm 0,1</math> einstellen, Flasche sofort verschließen.</li> <li>Lösung jeweils vor Gebrauch frisch ansetzen) pipettieren.</li> <li>- Den Meßkolben und das Druckfiltrationsgerät (mit Membranfilter, Porenweite <math>0,45 \mu\text{m}</math>) etwa 10 min mit Stickstoff spülen.</li> <li>- Das Vorratsgefäß mit der zu untersuchenden Wasserprobe vollständig füllen, die Wasserprobe mit Stickstoff mit einem Überschuß von höchstens 2 bar in den Meßkolben bis zur Marke filtrieren (die Verbindung zwischen Druckfiltrationsgerät und Meßkolben muß so beschaffen sein, daß ein Luftzutritt weitestgehend vermieden wird).</li> <li>Die Filtrationszeit soll 5 min nicht überschreiten.</li> </ul>	Man unterscheidet die Probenkonservierung für leicht filtrierbare und schwieriger filtrierbare Wässer.	DIN 38405, Teil 26
Sulfid ( $S^{2-}$ ) leicht freisetzbar	In eine Steilbrustflasche mit Schliff-Stopfen, Nennvolumen 500 ml: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 ml Zinkacetat-Lösung (20 g Zink-acetat-dihydrat, <math>Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O</math>, in Wasser lösen und mit Wasser auf 1 l auffüllen.</li> <li>- 490 ml der zu untersuchenden Wasserprobe zufügen und mischen.</li> <li>- Einige Tropfen Phenolphthalein-Lösung (<math>\omega = 0,1 \%</math> in Ethanol) zufügen und bis zur leichten Rosafärbung Natriumhydroxid-Lösung (<math>c(NaOH)</math> etwa 2 mol/l) zugeben.</li> <li>- Alkalische und/oder stark gefärbte Wasserproben unter elektrometrischer Indikation auf ein pH-Wert von 8,5 bis 9,0 einstellen.</li> <li>- Flasche verschließen und Probe spätestens nach 72 h untersuchen. Bis zur Untersuchung die Probe bei <math>4^\circ\text{C}</math> lagern.</li> </ul>		DIN 38405, Teil 27
Elemente: Bi, Pb, Cd, Co, Cu, Ni, Ag, Tl, Zn	1 l Probe mit 1 ml Salpetersäure ( $HNO_3$ , $p = 1,40 \text{ g/ml}$ ) ansäuern. Der pH-Wert muß $<2$ sein, ansonsten die Säurezugabe erhöhen.		DIN 38406, Teil 21
33 Elemente: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Si, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn, Zr	1) Gesamt-Element: 1 l Probe mit 1 ml Salpetersäure ( $HNO_3$ , $p = 1,40 \text{ g/ml}$ ) ansäuern. Der pH-Wert muß $<2$ sein, ansonsten die Säurezugabe erhöhen. 2) Element-gelöst: Probe durch einen Membranfilter (Porenweite $0,45 \mu\text{m}$ ) filtrieren und 1 l Wasserprobe mit 1 ml Salpetersäure ( $HNO_3$ , $p = 1,40 \text{ g/ml}$ ) ansäuern. Der pH-Wert muß $<2$ sein, ansonsten die Säurezugabe erhöhen.	Es ist zwischen der Bestimmung Gesamt-Element und Element-gelöst zu differenzieren. Das hier angegebene Konservierungsverfahren kann als Alternative zu dem nach DIN 38406, Teil 21, angewandt werden.	DIN 38406, Teil 22

### Konservierung von Wasserproben - anorganische Parameter (Seite 3/3)

## II) Organische Parameter

Parameter	Konservierungsverfahren (Nur anzugeben sofern Abweichung von der Norm oder in der Norm nicht enthalten)	Bemerkungen	Norm
Leichtflüchtige Chlor- und Fluorkohlenwasserstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei gechlorten Wasserproben, Zugabe von Natriamthiosulfat (ca. 50 mg je 250 ml Wasser).</li> <li>- Kühlung bei 4 °C.</li> <li>- Eine über 48 h hinausgehende Lagerungs- und Transportzeit ist im Analysenbericht anzugeben.</li> </ul>		DIN 38407, Teil 4 und 5
Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analog DIN 38407, Teil 4 und 5 (Leichtflüchtige Chlor- und Fluorkohlenwasserstoffe).</li> <li>- Gegebenenfalls zum Aussalzen 6 g Kaliumcarbonat (je 5 ml Wasserprobe) im Headspace-Gefäß vor der Probenahme vorlegen.</li> </ul>		Siehe auch DIN 38407, Teil 9
Leichtflüchtige aliphatische Kohlenwasserstoffe incl. Lösungsmittel	Kühlung bei 4 °C.		-
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	Kühlung bei 4 °C.		-
Polychlorierte Biphenyle	Kühlung bei 4 °C.		-
Polychlorierte Naphthaline	Kühlung bei 4 °C.		-
Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane	Kühlung bei 4 °C.		-
Organochlorpestizide	Kühlung bei 4 °C.		-
Organophosphorpestizide	Kühlung bei 4 °C. Im Dunkeln aufbewahren.		-
Phenoxycarbonsäuren	Kühlung bei 4 °C. Im Dunkeln aufbewahren.		-
Phenole incl. Chorphenole	Kühlung bei 4 °C.		-
Nitroaromaten und Sprengstoffe sowie deren Abbauprodukte	Kühlung bei 4 °C. Im Dunkeln aufbewahren.		-
Kampfstoffe	Keine Methode zur Konservierung der Proben bekannt.		-

### Konservierung von Wasserproben - organische Parameter

### III) Summenparameter

Parameter	Konservierungsverfahren (Nur anzugeben sofern Abweichung von der Norm oder in der Norm nicht enthalten)	Bemerkungen	Norm
Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proben mit Salpetersäure, <math>c(\text{HNO}_3) = 10 \text{ mol/l}</math>, auf <math>\text{pH} = 2</math> einstellen.</li> <li>- Proben, die Oxidationsmittel enthalten (Freies Chlor, Hypochlorit etc.) mit einer Spatelspitze Natriumsulfit, <math>\text{Na}_2\text{SO}_3</math>, versetzen, größere Überschüsse vermeiden.</li> </ul>		DIN 38409, Teil 14
Adsorbierbare organisch gebundener Schwefel (AOS)	Keine Methode zur Konservierung der Probe empfohlen.		-
Dissolved organic Carbon (DOC)  Bestimmung des gelösten Sauerstoffs  (Methode 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Probenflasche muß bei der Probenahme vollständig gefüllt werden.</li> <li>1) Probenahme von Oberflächengewässern: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Probenflasche muß unter Wasser gefüllt werden, damit sich die Konzentration des gelösten Sauerstoffs nicht verändert.</li> <li>- Nach dem Entfernen der am Glas anhaftenden Luftblasen sofort den Sauerstoff fixieren (s. u.).</li> </ul> </li> <li>2) Probenahme von Wässern aus Verbindungsleitungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einen Schlauch aus inertem Material an den Abfluß anschließen und bis zum Boden in die Probenflasche einführen.</li> <li>- Die Flasche so füllen, daß sie zunächst mit etwa dem 10fachen ihres Volumens gespült wird.</li> </ul> </li> <li>3) Probenahme in verschiedenen Wassertiefen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Probenflasche unter Luftverdrängung füllen, Turbulenzen vermeiden.</li> </ul> </li> </ul> <p>Sauerstoff-Fixierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sofort nach der Probenahme (vor Ort) mit einer Pipette unter die Flüssigkeitsoberfläche 1 ml Mangansulfat (Mangansulfat, wasserfrei, 340 g/l) und 2 ml alkalische Iod-Azid-Lösung (35 g Natriumhydroxid und 30 g Kaliumiodid in etwa 50 ml Wasser lösen, 1 g Natriumazid in einigen ml Wasser lösen. Die beiden Lösungen vereinigen und auf 100 ml auffüllen. Die Lösung in einer verschlossenen braunen Glasflasche aufbewahren) zugeben.</li> <li>- Die Flasche vorsichtig verschließen; den Einschluß von Luftblasen vermeiden.</li> <li>- Durch mehrmaliges Umdrehen der Flasche den Inhalt gründlich mischen. Den Niederschlag 5 min absetzen lassen, nochmals schütteln um sicherzugehen, daß die Mischung homogen ist.</li> <li>- Danach kann die Flasche transportiert werden.</li> <li>- Ist die Probe vor Licht geschützt, kann sie 24 h aufbewahrt werden.</li> </ul>	Glas-Eingabflaschen, Inhalt 130 bis 350 ml, auf 1 ml kalibriert, mit Stopfen. Die Flaschen und die dazugehörigen Stopfen werden nummeriert; das Volumen der Flasche wird durch Wägen bestimmt.	EN 25813
Mineralölkohlenwasserstoffe incl. Öle und Fette	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kühlung bei 4 °C.</li> <li>- Probe möglichst umgehend analysieren.</li> </ul>	Es wird empfohlen, das für die Extraktion benutzte Lösemittel unmittelbar nach der Probenahme zuzuführen oder die Extraktion am Probenahmeort ohne Umfüllung im Probenahmegefäß auszuführen.	-
Phenolindex	<p>Je Liter Probe werden zugesetzt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wasserprobe auf einen pH-Wert 5,4 einstellen und 1 g Kupfersulfat, <math>\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}</math>, zufügen.</li> <li>Evtl. ausgefälltes Kupfersulfid vor der Bestimmung abtrennen.</li> </ul>	Es ist nur dann eine Konservierung erforderlich, wenn die Untersuchung der gezogenen Proben nicht innerhalb von 4 h möglich ist.	DIN 38409, Teil 16

#### Konservierung von Wasserproben - Summenparameter

# Anlage 13 - Protokoll zum Abpumpen vor der Probenahme

<b>Protokoll zum Abpumpversuch vom</b>	<b>Pumpbeginn</b>	<b>Uhr/Pumpende</b>	<b>Uhr</b>
Meißeilenname: _____		Projekt: <sup>II)</sup> _____	
MKZ-Nummer: _____		probetreibende Stelle: _____	
Kennziffer: <sup>3)</sup> _____		Beweisniveau: _____	
Teilflächennummer: <sup>2)</sup> _____			

---

**1. Kenndaten der Meßstelle**

Bohrlochdurchmesser	_____ [cm]	gemessen nach	_____ [min]
Aushausöhe	_____ [m u. MP]	Abpumpvolumen für Abpumpzahl 1	_____ [l]
Fiterlänge	_____ [cm]	Abpumpdauer für Abpumpzahl 1	_____ [min]
Höhe Wasserspiegel vor Entnahme	_____ [m]	Entnahmetiefe	_____ [m]
Höhe Wasserspiegel nach Entnahme	_____ [m]		

---

**2. Meßergebnisse**

Lufttemperatur	_____ [°C]			
Förderleistung der Pumpe	_____ [l/min]			
Witterungsbedingungen	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>			01 trocken, 02 mäßig feucht, 03 Starkregenereignis während PN, 04 Schneedecke, 05 Schneeschmelzperiode, 06 Starkregenereignis vor PN

**2.1 Vor Ort gemessene Leitparameter**

	Pumpdauer [min]							
Wassertemperatur [°C]								
Leitfähigkeit [ $\mu\text{S/cm}$ ]								
pH-Wert								
Sauerstoff [mg/l]								
Sauerstoffsättigung [%]								
Redoxspannung [mV]								

**2.2 Organoleptische Prüfungen**

	Pumpdauer [min]							
Färbung (01 weiß, 02 grau, 03 gelb, 04 grün, 05 braun, 10 farblos, 20 schwach, 30 stark, Bsp. 25 schwach braun)								
Trübung (10 keine, 20 schwach, 30 stark)								
Geruch (01 edlig, 02 modrig, 03 faulig, 04 jauchig, 05 fischig, 06 aromatisch, 07 Chlor, 08 Teer, 09 Mineralöl, 10 ohne, 20 schwach, 30 stark)								
Bodensatz (10 ohne, 20 Spuren, 30 geringfügig, 40 wesentlich)								

**2.3 Weitere Leitparameter (Laborbefunde)**

	Pumpdauer [min]							
Nitrat [mg/l]								
Hydrogencarbonat [mmol/l]								
Chlorid [mg/l]								
Calcium [mg/l]								
Magnesium [mg/l]								

**3. Bemerkungen** \_\_\_\_\_

Protokoll für: \_\_\_\_\_

Datum/Unterschrift: \_\_\_\_\_

**Erläuterungen:**  
 I) einstragen ist die Allfiter-Kennziffer oder eine für das Projekt gültige sonstige Kennziffer  
 II) nur bei Allfiteruntersuchungen  
 III) einstragen ist der Name des Erkundungsobjektes oder eine sonstige Projektbezeichnung (z. B. Meißelname)

# Anlage 14 - Protokoll über die Entnahme einer Grundwasserprobe

Meßstellenname: _____ MKZ-Nummer: _____ Kennziffer: <sup>1)</sup> _____ Teilflächennummer: <sup>2)</sup> _____	Projekt: <sup>3)</sup> _____ Beweisivona: <sup>4)</sup> _____ probennehmende Stelle: _____ Untersuchungsaboe: _____
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

1. **Probenmaterial**<sup>1)</sup> WG Betreiber \_\_\_\_\_

2. **Angaben zur Entnahmestelle**

Art der Probenahmestelle <sup>2)</sup> _____	Hochwert <sup>4)</sup> _____
Meßparkehöhe _____ [NN + m]	Rechtswert <sup>5)</sup> _____
Filteroberkante _____ [m u. MP]	Innendurchmesser _____ [mm]
Filterunterkante _____ [m u. MP]	Bohrlochdurchmesser _____ [mm]
	Ausbauohle _____ [m u. MP]

3. **Allgemeine Angaben zur Probenahme**

Anlaß der Probenahme <sup>3)</sup> <u>U</u>	Datum _____
Art der Probenahme <sup>4)</sup> _____	Ermahmergerät <sup>5)</sup> _____
Pumpbeginn-Uhrzeit _____	Probenahme-Uhrzeit _____
Pumpende-Uhrzeit _____	Witterungsbedatungen <sup>6)</sup> _____

4. **Angaben zur Durchführung der Probenahme**

Wasserspiegel vor Entnahme _____ [cm u. MP]	nach Entnahme _____ [cm u. MP]
Teufe Probenarterkante _____ [cm u. MP]	Probenoberkante _____ [cm u. MP]
Förderstrom _____ [l/min]	Ermahmerstrom/Schüttung _____ [l/min]
Einhängtiefe Pumpe _____ [m u. MP]	

5. **Untersuchungen während der Probenahme**

	<u>vor Entnahme</u>	<u>nach Entnahme</u>
Lufttemperatur	____ . ____ [°C]	____ . ____ [°C]
Wassertemperatur	____ . ____ [°C]	____ . ____ [°C]
Farbung	[ ] [ ]	[ ] [ ]
01 weiß, 02 grau, 03 gelb, 04 grün, 05 braun, 10 farblos, 20 schwach, 30 stark (Bsp. 25 schwach braun)		
Trübung	[ ] [ ]	[ ] [ ]
10 keine, 20 schwach, 30 stark Geruch	[ ] [ ]	[ ] [ ]
01 erdig, 02 modrig, 03 faulig (H <sub>2</sub> S), 04 juchig, 05 fischig, 06 aromatisch, 07 Chlor, 08 Toer, 09 Mineralöl, 10 ohne, 20 schwach, 30 stark (Bsp. 33 stark faulig)		
Bodensatz	[ ] [ ]	[ ] [ ]
10 ohne, 20 Spuren, 30 geringfügig, 40 wesentlich		
O <sub>2</sub> -Gehalt	____ . ____ [mg/l]	____ . ____ [mg/l]
Sauerstoffsättigung	____ [%]	____ [%]
pH-Wert	bei _____ [°C]	____ . ____
elektr. Leitfähigkeit	bei _____ [°C]	____ . ____ [µS/cm]
Redoxspannung	bei _____ [°C]	____ . ____ [mV]

6. **Bemerkungen**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Protokoll für: \_\_\_\_\_

Datum/Unterschrift: \_\_\_\_\_

Schluß/Tätigkeiten siehe nächste Seite

Protokoll über die Entnahme einer Grundwasserprobe

## Schlüssel für die umseitigen Angaben

### 1) Untersuchung von:

- WG = Grundwasser
- WQ = Quellwasser
- WN = Niederschlagswasser
- WT = Trinkwasser
- WR = Rohwasser
- WU = Uferfiltrat

### 2) Art der Probenahmestelle:

- 01 = GW-Beobachtungsrohr
- 02 = Bohrbrunnen
- 03 = Schachtbrunnen
- 04 = Grundwasserblänke
- 05 = Quelle
- 06 = Sammelentnahme
- 07 = Baugrube

### 3) Anlaß der Probenahme:

- C = chemische Charakterisierung von GW
- U = Klärung von Kontaminationsgefährdungen
- R = Routineuntersuchung
- H = Havarie, Schadensfall
- I = Untersuchung im Auftrag
- N = nicht bekannt

### 4) Art der Probenahme:

- W = Wassersammelprobe, allgemein
- WM = Wassermischprobe
- WV = Mischprobe über 24 Stunden
- WH = Schöpfprobe
- WP = Pumpprobe
- WN = natürlicher Aus-/Überlauf
- WF = Entnahme Vorfluter
- WK = Entnahme Wasserwerk
- WO = Entnahme Ortsnetz

### 5) Entnahmegesetz:

- S = Schöpfgerät
- ZH = Zapfhahn, Wasserhahn

P = Pumpe  
PS = Saugpumpe  
PK = Tauchschwingkolbenpumpe  
PT = Tauchmotorpumpe  
PF = stationäre Pumpe  
PR = Packer  
SK = Saugkerze  
LY = Lysimeter

6) Witterungsbedingungen:

01 = trocken  
02 = mäßig feucht  
03 = Starkregenereignis während Probenahme  
04 = Schneedecke  
05 = Schneeschmelzperiode  
06 = Starkregenereignis vor Probenahme

**Erläuterungen**

- I) einzutragen ist die Altlasten-Kennziffer oder eine für das Projekt gültige sonstige Kennziffer
- II) nur bei Altlastenuntersuchungen
- III) einzutragen ist der Name des Erkundungsobjektes oder eine sonstige Projektbezeichnung (z. B. Meßnetzname)
- IV) Angabe als Bessel-Koordinate

## **Anlage 15 - Methoden zur Grundwassererkundung**

aus Band 20 der Schriftenreihe „Materialien zur Altlastenbehandlung“ der Landesanstalt für Umweltschutz Baden- Württemberg

Methodensammlung

Teil 1: Methoden zur Grundwassererkundung

(Nov. 1995; 50 Seiten; 24,00 DM)

zu beziehen bei:

Verlagsauslieferung der Landesanstalt

für Umweltschutz Baden-Württemberg

bei der JVA Mannheim

Herzogenriedstraße 111

68169 Mannheim

Telefax: (06 21) 398-222

(Portokostenpauschale 6,00 DM)

## Anlage 16 - Verschiedene Typen von Bohrwerkzeugen (nach VDI 3865 Blatt 2)

Bohrwerkzeuge	Verwendungszweck	Bodenklasse nach DIN 18300	Bemerkungen
Rammsonde, siehe Abb. A 1	zum Vorbohren, ohne Gewinnung des Bohrkernes; für Tiefen von 1 m bis 10 m	2 bis 5	das Bodenmaterial wird an der Wandung des Bohrloches stark verdichtet; keine Aussagen über Bodenaufbau möglich
Rammkernsonde (offen oder geschlossen), siehe Abb. A 2, A 3	zum Vorbohren, mit Gewinnung des Bohrkernes, zur Aufnahme des Bodenprofils; für Tiefen von 1 bis 10 m	2 bis 5	das Bodenmaterial wird an der Wandung des Bohrloches wenig verdichtet
Schlitze-sonde oder Nutstange (mit offener oder geschlossener Spitze), siehe Abb. A 4	zum Vorbohren, mit Gewinnung des Bohrkernes; für Tiefen von 1 bis 10 m	2 bis 4, ggf. 5	geringe Verdichtung, vor allem bei offener Spitze; bei bindigen Böden verwendet man eine Sonde mit offener Spitze, bei nicht-bindigen Böden verwendet man eine Sonde mit geschlossener Spitze
Bohrwerkzeug (z. B. rotierender Bohrermeißel)	zum trockenen Durchbohren von befestigten Oberflächen und Bohrhindernissen (z. B. Asphalt, Teer, Beton)	6, 7	nur bei drehenden Bohrergeräten verwendbar
Bohrschnecke, siehe Abb. A 5	zum Vorbohren, zum Anlegen Gasbrunnen, Bohrtiefe 1 bis 5 m (z. B. bis zu 10 m bei einem Durchmesser von 110 mm)	2, 3, ggf. 4	geringste Verdichtung; zum Gewinnen von Bodenmaterial geeignet, aber keine Ansprache der Bodenhorizontierung möglich
Bohrhammer	zum Einrammen des Bohrgestänges	–	Motorbetrieb, bevorzugt mit Elektromotor, um die Proberaumstelle nicht durch Abgabe bzw. verdampfenden Treibstoff zu kontaminieren
Bohrhammer	zum Einschlagen von Nutstangen („Pürckhauer“); für Tiefen von 1 bis 2 m	2, 3	Kunststoffhammer
Ziehgerät	zum Ziehen des eingeschlagenen Bohrgestänges	–	die Eignung der verwendeten Ziehgeräte ist in der Regel abhängig vom Typ des Bohrergerätes und der Bohrtiefe

Verschiedene Typen von Bohrwerkzeugen (nach VDI 3865 Blatt 2)

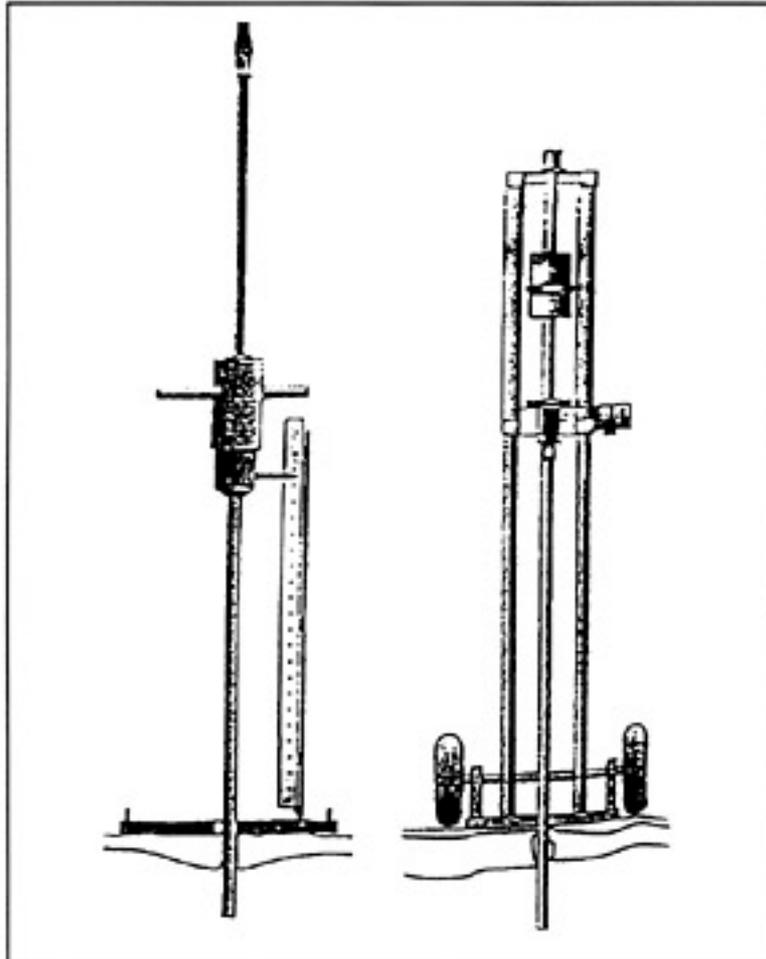
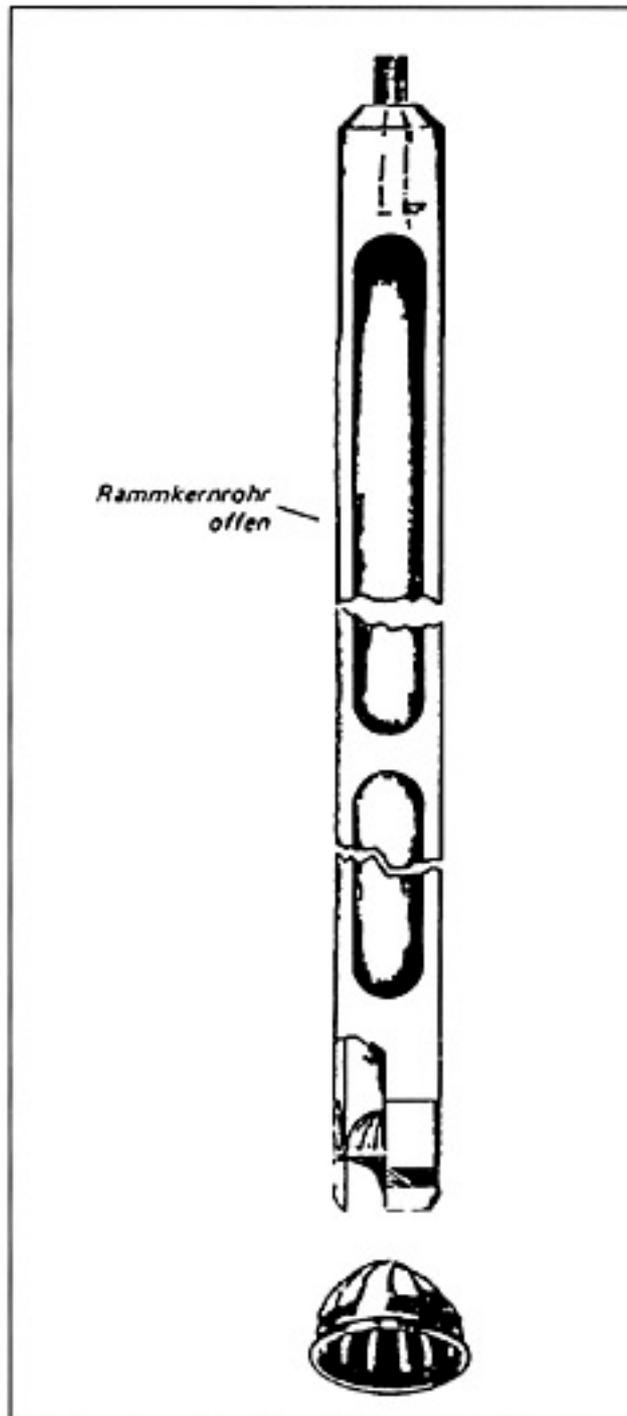


Abb. A 1: Rammsonde mit geschlossener Spitze



**Abb. A 2: Rammkernsonde, offen**

Rammkernsonden - offen - sind Bohrwerkzeuge zur Entnahme von Bodenproben oberhalb des Wasserspiegels. Je nach den Bedingungen können Proben der Güteklassen 3-4 gewonnen werden. Sie zählen zu den Bohrwerkzeugen der Kleinbohrverfahren in Böden gemäß DIN 4021 Tabelle 3, Zeile 2

Der Kernfangring verhindert das Herausrutschen der Bodenprobe beim Ziehen der Rammkernsonde

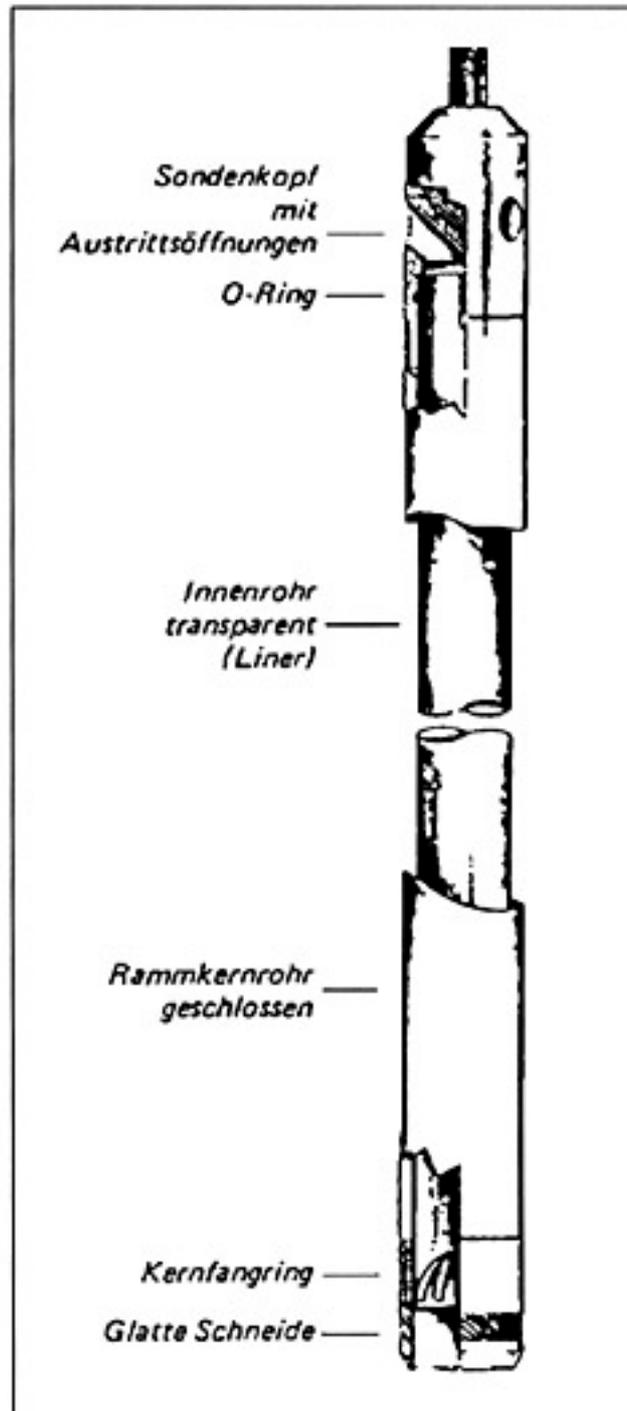
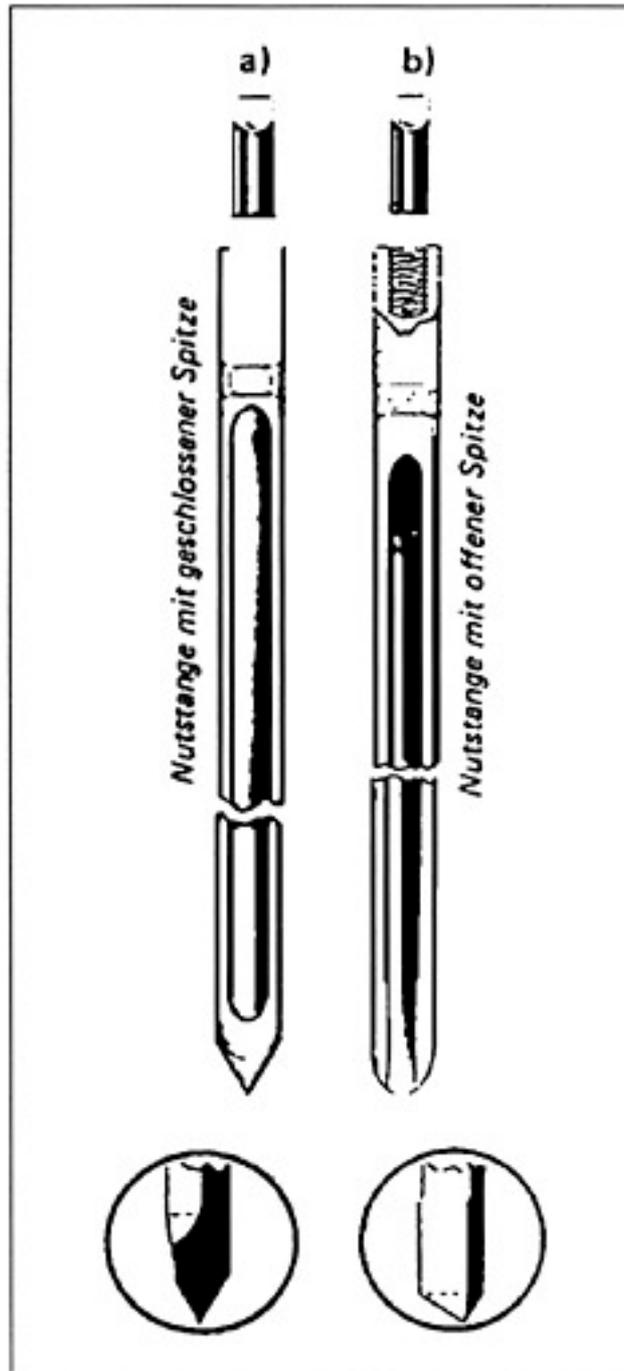


Abb. A 3: Rammkernsonde, geschlossen

Rammkernsonden - geschlossen - sind Bohrwerkzeuge zur Entnahme von Bodenproben unterhalb des Wasserspiegels. Je nach den Bedingungen können Proben der Güteklassen

3-4 gewonnen werden. Sie zählen zu den Bohrwerkzeugen der Kleinbohrverfahren in Böden gemäß DIN 4021 Tabelle 3, Zeile 2



**Abb. A 4: Schlitzsonde oder Nutstange**

a) mit offener Spitze

b) mit geschlossener Spitze

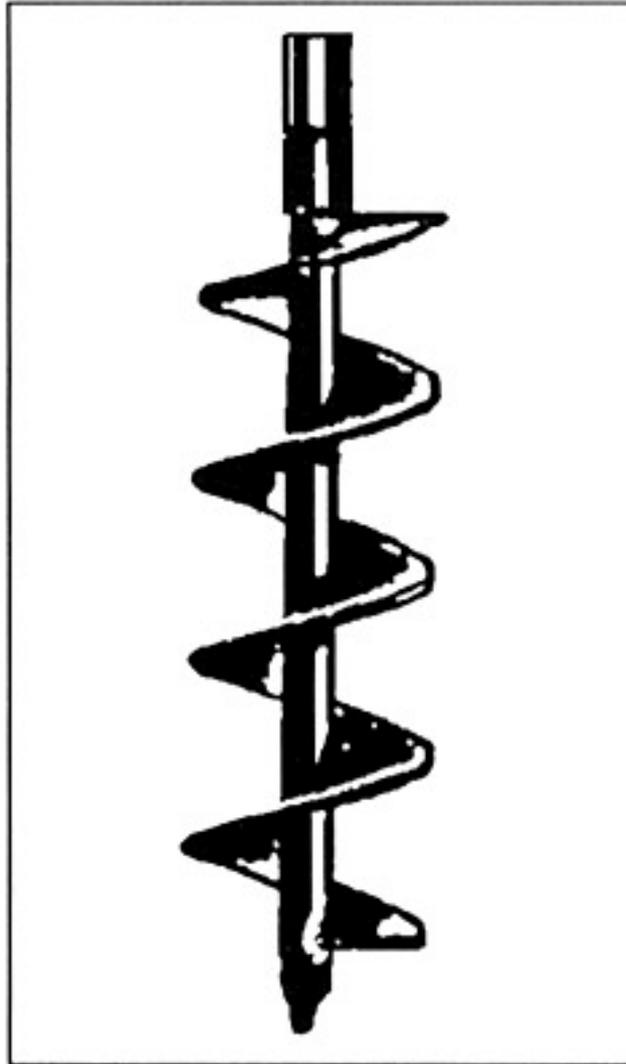


Abb. A 5: Bohrschnecke



Art der Probensammlung:

Adsorptionsröhrchen ( )  
 Adsorbiermaterial \_\_\_\_\_  
 Elution ( ) vor Ort ( ) im Labor  
 Elutions-/Extraktionsmittel, Volumen [ml] \_\_\_\_\_  
 direktanzeigendes Prüfröhrchen ( )  
 Typ \_\_\_\_\_  
 Gassammelgefäß ( ) \_\_\_\_\_  
 Direktmessung ( ) \_\_\_\_\_  
 abgesaugtes Volumen vor der eigentlichen Probenahme \_\_\_\_\_  
 Förderstrom [l/min] \_\_\_\_\_  
 Start über Indikatorgas ja ( ) nein ( )  
 Art \_\_\_\_\_  
 Konzentration \_\_\_\_\_  
 Dauer der Absaugung für die Probenahme [min] \_\_\_\_\_  
 Zählerstand [l]  
 Anfang \_\_\_\_\_  
 Ende \_\_\_\_\_  
 gesamtes Entnahmevermögen [l] \_\_\_\_\_  
 Probenvolumen [ml oder l] \_\_\_\_\_  
 Anzahl der Hübe (bei Verwendung einer Balgenpumpe) \_\_\_\_\_  
 Verhältnis Probenvolumen:Bohrlochvolumen \_\_\_\_\_

Probentransport/-lagerung:

Probentransport  
 Ziel \_\_\_\_\_  
 Bedingungen \_\_\_\_\_  
 Probenlagerung  
 Ort \_\_\_\_\_  
 Zeitraum \_\_\_\_\_  
 Bedingungen \_\_\_\_\_

Bemerkungen \_\_\_\_\_

Probennehmer \_\_\_\_\_

Datum/Uhrzeit \_\_\_\_\_

<sup>1)</sup> DIN 4023 (März 1984) Baugrund- und Wasserbohrungen; Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse