



Freie und Hansestadt Hamburg
Umweltbehörde
Amt für Umweltschutz

Merblätter zur Qualitätssicherung

Merblatt Nr. 9
Entnahme von Bodenluftproben

Impressum

Herausgeber:

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg
Billstraße 84, 20539 Hamburg

Redaktion:

Amt für Umweltschutz
Arbeitskreis Qualitätssicherung
Hartmut Dittrich
Telefon: (040) 4 28 45 - 3039
E-mail: Hartmut.Dittrich@bsu.hamburg.de

Stand:

Juli 2001

Aktualisierung des Impressum:

April 2008

Merkblatt Nr. 9 Entnahme von Bodenluftproben

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorbemerkungen	2
2.	Geltungsbereich	3
3.	Bohr- und Aufschlussverfahren	3
3.1	Allgemeines	3
3.2	Verdrängersonde	4
3.3	Bohrlochverfahren	6
3.4	Stationäre Gaspegel	8
3.5	Vergleich der Aufschlussverfahren	10
4.	Bodenluftprobenahme, Messverfahren und Analytik	11
4.1	Allgemeines	11
4.2	Probenahmeverfahren	11
4.3	Vor-Ort-Messungen	12
4.4	Proben und Laboranalytik	13
4.5	Vergleich der Direkt- und Anreicherungsverfahren	14
4.6	Probentransport und Lagerung	14
5.	Dokumentation	14
6.	Qualitätssicherung	15
7.	Anlagen	15
8.	Literatur	16

1. Vorbemerkungen

Im Rahmen von Gefährdungsabschätzungen auf altlastverdächtigen Flächen bzw. Altlasten stellen Bodenluftmessungen häufig eine erste orientierende Untersuchung bei Verdacht auf leichtflüchtige organische Schadstoffe dar. Die Bodenluft und die in ihr enthaltenen Schadstoffe befinden sich in komplexen Wechselwirkungen des Drei-Phasen-Systems aus Bodenfeststoff, Bodenwasser und Bodenluft. Dieses System wird zudem von vielen äußeren Faktoren beeinflusst. Daher sind Bodenluftmessungen nicht isoliert zu betrachten.

Als relevante Schadstoffe im Rahmen der Altlastenbearbeitung sind insbesondere die Substanzen der folgenden Stoffgruppen durch Bodenluftmessungen bestimmbar:

- leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW)
- einkernige, aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)
- andere niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe
- auch weniger flüchtige Substanzen (z.B. Naphthalin) bei höheren Konzentrationen.

Die oben beschriebenen Schadstoffe liegen bei Raumtemperatur i.d.R. flüssig vor, sodass sie durch Versickerung an Produktions- oder Altstandorten sowie durch Schadensfälle in den Boden gelangen können. Auch über eine Ausgasung aus belastetem Grundwasser können Schadstoffe in die ungesättigte Bodenzone gelangen.

Bodenluftmessungen kommen bei der Lokalisierung von möglichen Schadstoffeintragstellen („Quellensuche“) und der Eingrenzung von kontaminierten Bodenzonen oder seltener auch bei belasteten Grundwasserkörpern zum Einsatz, um dann beispielsweise in weiteren Untersuchungsschritten gezielt Entnahmepunkte für Bodenproben oder Standorte von Grundwassermessstellen festlegen zu können. Die Festlegung der Probenahmestrategie ist nicht Bestandteil dieses Merkblattes. Hierzu wird auf die Ausführungen in der VDI-Richtlinie 3865, Blatt 1, verwiesen. Generell ist jedoch vor der Ausführung von Messungen die Aufstellung eines Standort spezifischen Probenahmeplans unerlässlich.

Entsprechend der Aufgabenstellung werden Bodenluftuntersuchungen entweder in (*temporären*) Messstellen oder als Wiederholungsmessungen bzw. zur Durchführung von Absaugversuchen in geeigneten ortsfesten (*stationären*) Gaspegeln durchgeführt.

Verfahren zur Bodenluftuntersuchung sind Konventionsverfahren. Daher sind Messdaten aus Bodenluftuntersuchungen nur dann miteinander vergleichbar, wenn sie unter vergleichbaren Probenahme- und Messbedingungen ermittelt wurden. Daraus folgt, dass nur relative Konzentrationen bestimmt werden können, die zur Hintergrundbelastung, die für jeden Standort Einzelfall bezogen zu ermitteln ist, in Beziehung zu setzen sind.

Generell ist festzustellen, dass Bodenluftuntersuchungen lediglich orientierenden Charakter haben und für eine umfassende Beurteilung einer Verdachtsfläche (Gefährdungsabschätzung) allein nicht ausreichen.

Aus vorliegenden Bodenluftuntersuchungen können jedoch gezielt notwendige weitere Erkundungsmaßnahmen des Bodens bzw. des Grundwassers abgeleitet werden. Gleichzeitig können die Werte für eventuell einzuleitende Sanierungsmaßnahmen

men in der Bodenluft herangezogen werden, die zuvor jedoch in jedem Fall durch angepasste Absaugversuche zu validieren sind.

2. Geltungsbereich

Bei Bodenluftuntersuchungen handelt es sich um Konventionsverfahren, deren wichtigste erprobte Methoden hier vorgestellt werden. Die aufgeführten Verfahren zeichnen sich, bei fachlich einwandfreier Ausführung, durch weitgehend reproduzierbare Ergebnisse aus. Dies ist für die weitere Bewertung der Ergebnisse von entscheidender Bedeutung.

Außerdem werden, vergleichbar mit dem Merkblatt Nr. 4 "Entnahme von Grundwasserproben", verbindliche Qualitätssicherungsmaßnahmen vorgesehen, die die Vergleichbarkeit der Messergebnisse untereinander weiter erhöhen.

Die Gültigkeit dieses Merkblattes beschränkt sich gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz auf die Untersuchung von schädlichen Bodenveränderungen, Verdachtsflächen, Altlasten und altlastverdächtigen Flächen (inkl. Altstandorte), sofern es sich dabei nicht um Altablagerungen handelt. Die Untersuchung von Altablagerungen (Deponien) wird auf Grund der gesonderten Deponiegasproblematik nicht behandelt. Durch das Merkblatt werden bereits bestehende Richtlinien zur Entnahme von Bodenluftproben (VDI-Richtlinie 3865, Blatt 2), die gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) gelten, nicht ersetzt.

3. Bohr- und Aufschlussverfahren

3.1 Allgemeines

Grundsätzlich sind zwei Entnahmearten von Bodenluft zu unterscheiden:

1. einphasige Probenentnahme, (z.B. Verdrängersonde) siehe Kapitel 3.2,
2. zweiphasiges Verfahren durch konventionelle Trockenbohrung mit der Gewinnung von Bodenmaterial; anschließend Entnahme einer Bodenluftprobe (Bohrlochverfahren) siehe Kapitel 3.3.

Die Bodenluft-, Ramm- oder Rammkernsonden werden mit einem (motorgetriebenen) Hammer bis zur gewünschten Entnahmetiefe in den Boden getrieben. Erkundungsbohrungen sind grundsätzlich trocken niederzubringen. Spülhilfen oder Spülmittelzusätze dürfen nicht verwendet werden. Bohr- und Sondierarbeiten sind gemäß der DIN 4022 Blatt 1 bis 3 in der jeweils gültigen Fassung durchzuführen.

Die Bohrgeräte sind nach jeder Bohrung zu reinigen, um eine Verschleppung von Kontaminationen zu vermeiden.

Nach Abschluss der Probenahme aus temporären Messstellen ist das Bohrloch mit Abdichtungsmaterial (z.B. Quellton) wieder zu verfüllen.

Folgende Bedingungen sind generell bei der Durchführung von Bodenluftprobenahmen zu berücksichtigen:

- Der **Bodenaufbau** muss möglichst bis zum Grundwasserspiegel erkundet sein (Führen von Schichtenverzeichnissen), um ein Mitfördern von Wasser bei der Probenahme auszuschließen. Für eine qualifizierte Interpretation der Ergebnisse ist z.B. die Kenntnis über das Vorhandensein, die Lage und Mächtigkeit von bindigen Schichten erforderlich.
- Die **Entnahmetiefe** sollte mindestens 1 m unter Geländeoberkante (GOK) lie-

gen, um einen Einfluss atmosphärischer Luft weitgehend auszuschließen. Übliche Entnahmetiefen liegen in Abhängigkeit von den Standortgegebenheiten (z.B. Grundwasserflurabstand) zwischen 1 und 4 m unter GOK. In Ausnahmefällen (versiegelte Oberflächen aus Beton, Asphalt etc.) können auch geringere Probenahmetiefen gewählt werden.

- Eine sorgfältige **Abdichtung** des Bohrlochs gegen die Außenluft ist unbedingt erforderlich (z.B. Packer, Dichtkegel).
- Während der Probenahme ist die Abdichtung des Bohrloches über die Druckanzeige des Packers, die Unterdruckanzeige der Bodenluftpumpe sowie über die **kontinuierliche Messung des CO₂- und O₂-Gehaltes** der geförderten Bodenluft, wenn möglich auch des Methangehaltes, ständig zu kontrollieren.
- Die Außentemperatur muss größer als die Bodenlufttemperatur sein. Verlässliche **Messungen** können nur bei **Außentemperaturen von ≥ 5 °C** durchgeführt werden, da es ansonsten bei der Entnahme von Proben durch den Kühlfalleneffekt an der Entnahmeapparatur zu deutlichen Minderbefunden der Schadstoffgehalte kommen kann.
- **Bodenluftentnahmen im Regen** sind zu **vermeiden**, da hierdurch nachweislich stärkere Streuungen der ermittelten Messwerte bedingt werden.
- Nach der Probenahme ist die **Sonde** bei erhöhtem Durchfluss **mit Frischluft zu reinigen**, um mögliche Verschleppungseffekte von Messpunkt zu Messpunkt auszuschließen.
- Für vergleichende Messungen sollten **Bohrlöcher mit gleicher Dimensionierung** erstellt werden (gleiches Totvolumen) und die Entnahmetiefe möglichst gleich sein. Bei Inhomogenitäten im Schichtaufbau sollten nur Messergebnisse aus **Bodenschichten mit ähnlicher Porosität und Feuchte** miteinander verglichen werden.
- Beachtet werden muss, dass bei **bindigen Böden** wie Lehm oder Beckenton/-schluff usw. und bei Vorhandensein von freiem Wasser im Probenahmebereich nur **geringe Bodenluftvolumina** entnommen werden können, bzw. auf Grund zu geringer Förderraten eine **qualifizierte Probenahme nicht möglich** ist.
- Zur sicheren Aus- und Bewertung der erhaltenen Messergebnisse sind vor und nach jedem Untersuchungsabschnitt oder zu Beginn eines jeden Probenahmetages **Blindwertmessungen der Außenluft** zu Vergleichszwecken durchzuführen. Die Außenluftmessung ist in Luv zur Belastungsfläche durchzuführen, um mögliche Einflüsse durch ausgasende Schadstoffe zu vermeiden. Bei Windstille oder umlaufenden Winden hat die Vergleichsmessung mit genügend großem Abstand zur Belastungsfläche zu erfolgen.

3.2 Verdrängersonde

Bei diesem Verfahren erfolgt die Probenahme in einer Kombination aus Sondier- und Messvorgang (einphasiges Verfahren). Da der Boden durch das Einschlagen der Sonde lediglich verdrängt wird, sind bei diesem Verfahren keine Aussagen über den Bodenaufbau möglich.

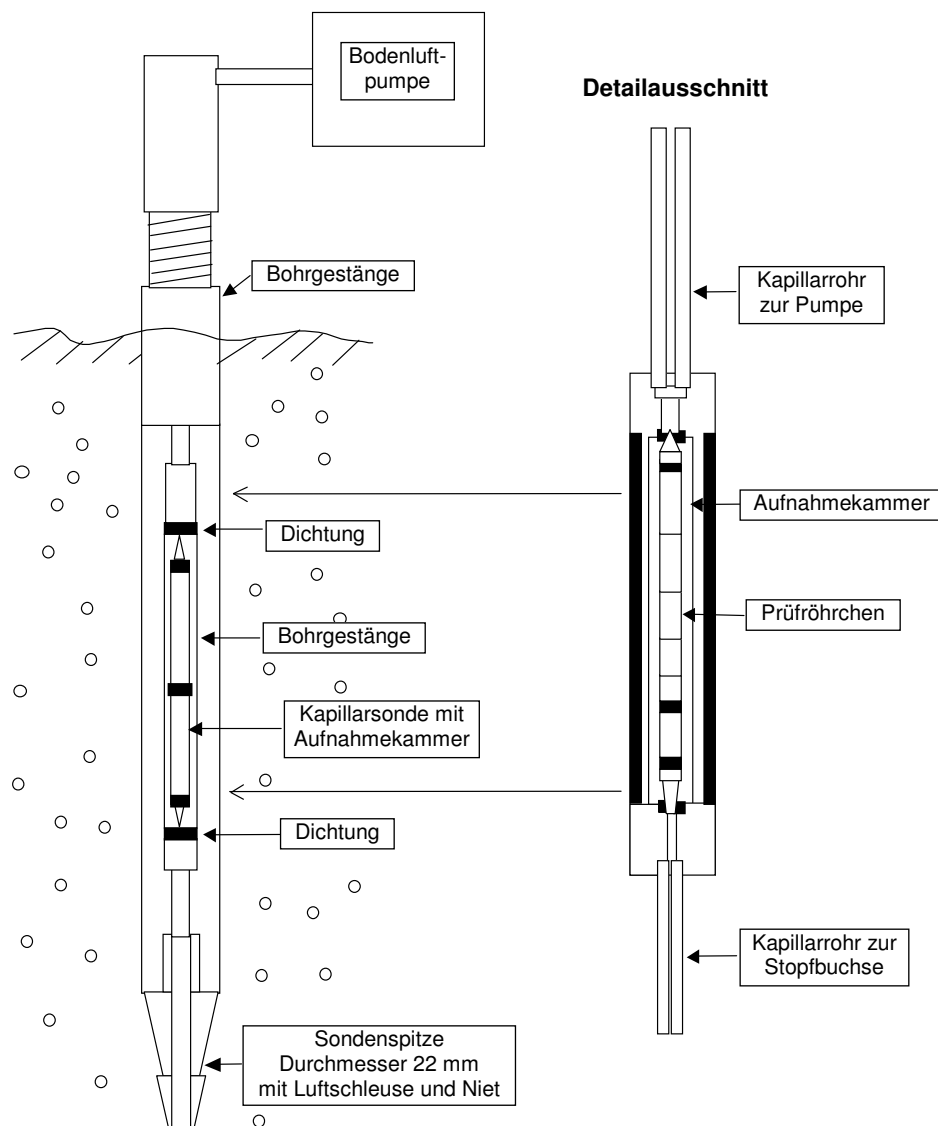
Daher ist der Einsatz dieser Methode auf Bereiche beschränkt, in denen der Untergrundaufbau durch vorausgehende Untersuchungen hinreichend genau bekannt ist.

Es wird ein Sondensystem eingesetzt, das aus einer Rammsonde mit Rammspitze, einer Entnahmesonde für die Aufnahme eines Adsorptionsröhrchens und einer Kapillarsonde, die zu einer Pumpe führt, besteht (s. **Abbildung 1**).

Nach einer Überprüfung der Dichtigkeit des Probenahmesystems vor Ort erfolgt die Bodenluftentnahme in folgenden Schritten:

1. Die Rammsonde wird mit einem Motor- oder Schonhammer in die gewünschte Entnahmetiefe geschlagen.
2. Durch leichtes Anziehen der Rammsonde bei Erreichen der Endteufe entsteht ein Hohlraum. Durch Einführen des Kapillargestänges wird die in der Spitze vorhandene Niet herausgedrückt. Aus der entstandenen Öffnung wird die Bodenluft entnommen. Eine Abdichtung des Bohrloches ist nicht erforderlich, da der umgebende Boden direkt am Entnahmerohr anliegt. Die Entnahmetiefe ist auf das direkte Umfeld der Sondenspitze beschränkt.

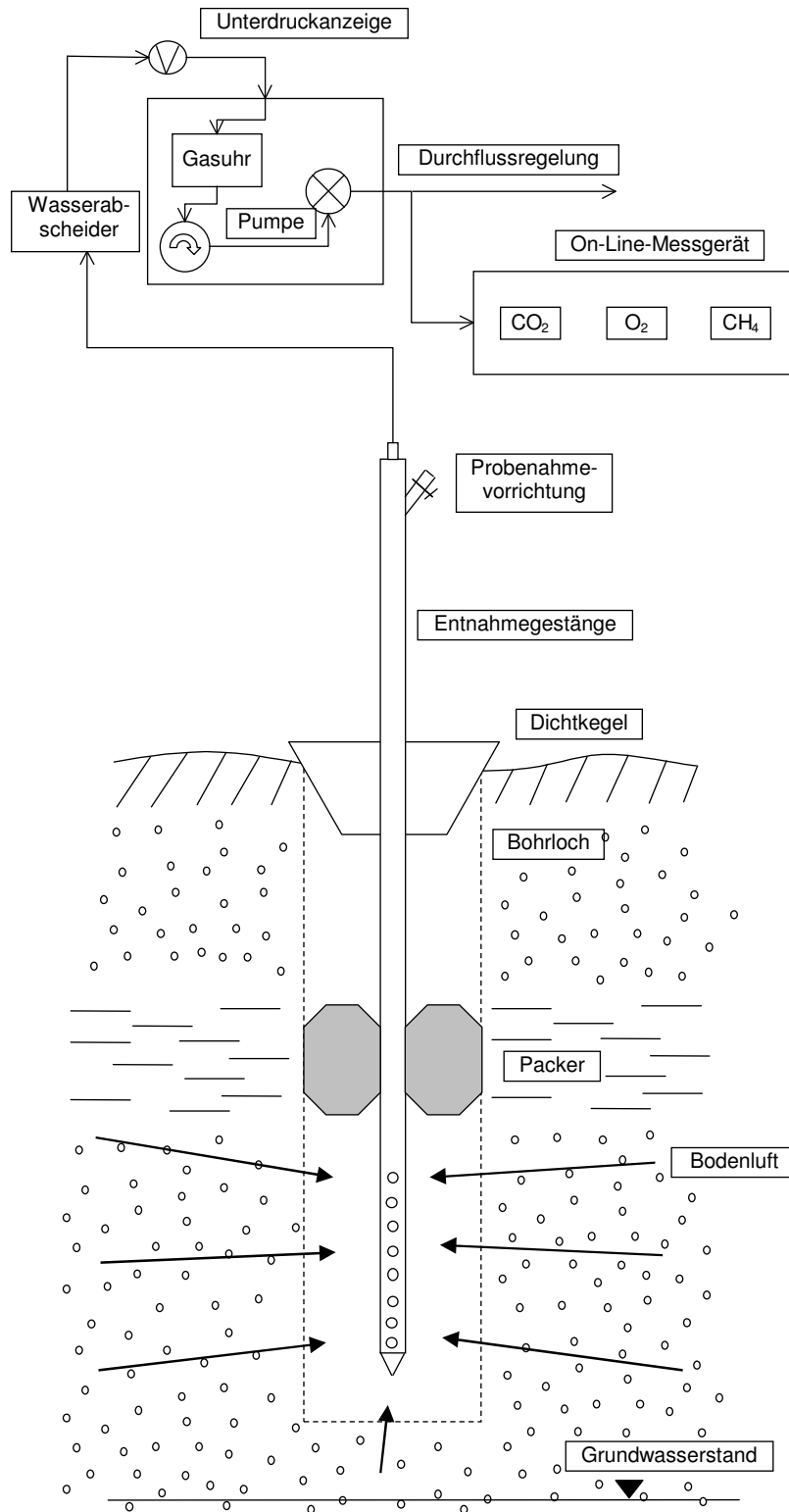
Abbildung 1: Prinzipskizze eines Bodenluftentnahmesystems mit kombiniertem Bohr- und Messvorgang (Verdrängersonde)



3.3 Bohrlochverfahren

Da vielfach bei der Ausführung von Bodenluftmessungen neben der Bestimmung der Schadstoffgehalte auch der Untergrundaufbau bzw. die Entnahme von Bodenproben notwendig ist, wird in einer Vielzahl von Fällen ein zweiphasiges Probenahmeverfahren angewandt. Hierzu wird in der **ersten Phase** eine Rammkernsondierung oder Kleinbohrung bis in die gewünschte Entnahmetiefe niedergebracht. Übliche Bohrdurchmesser liegen zwischen 40 - 100 mm. Um die Gefahr einer Verdichtung der Bohrlochwand zu minimieren, ist eine Rammsonde mit außenliegender Schnittkante einzusetzen. Das gewonnene Bodenprofil wird in einem Schichtenverzeichnis gemäß DIN 4022 erfasst und dokumentiert. Falls im Probenahmekonzept vorgesehen, können auch Bodenproben zur weiteren Analytik entnommen werden. In der **zweiten Phase** wird eine Messsonde, die dem Bohrl Lochdurchmesser angepasst ist, in das offene Bohrloch eingeführt (**s. Abbildung 2, Seite 7**). Mittels eines tiefenvariablen Packers wird das Bohrloch in der gewünschten Tiefe gegen nachströmende Atmosphärenluft abgedichtet. Beim Einsatz eines Dichtkegels besteht der Nachteil, dass die erforderliche Mindestentnahmetiefe von 1 m unter GOK lediglich durch die Anlage eines entsprechend groß dimensionierten Bohr- bzw. Vorschachtloches zu erreichen ist. Daher sollte in der Regel eine tiefenvariable Abdichtung mittels Packer gewählt werden.

Abbildung 2: Prinzipskizze eines Bodenluftentnahmesystems mit separatem Bohr- und Messvorgang (Bohrlochverfahren)



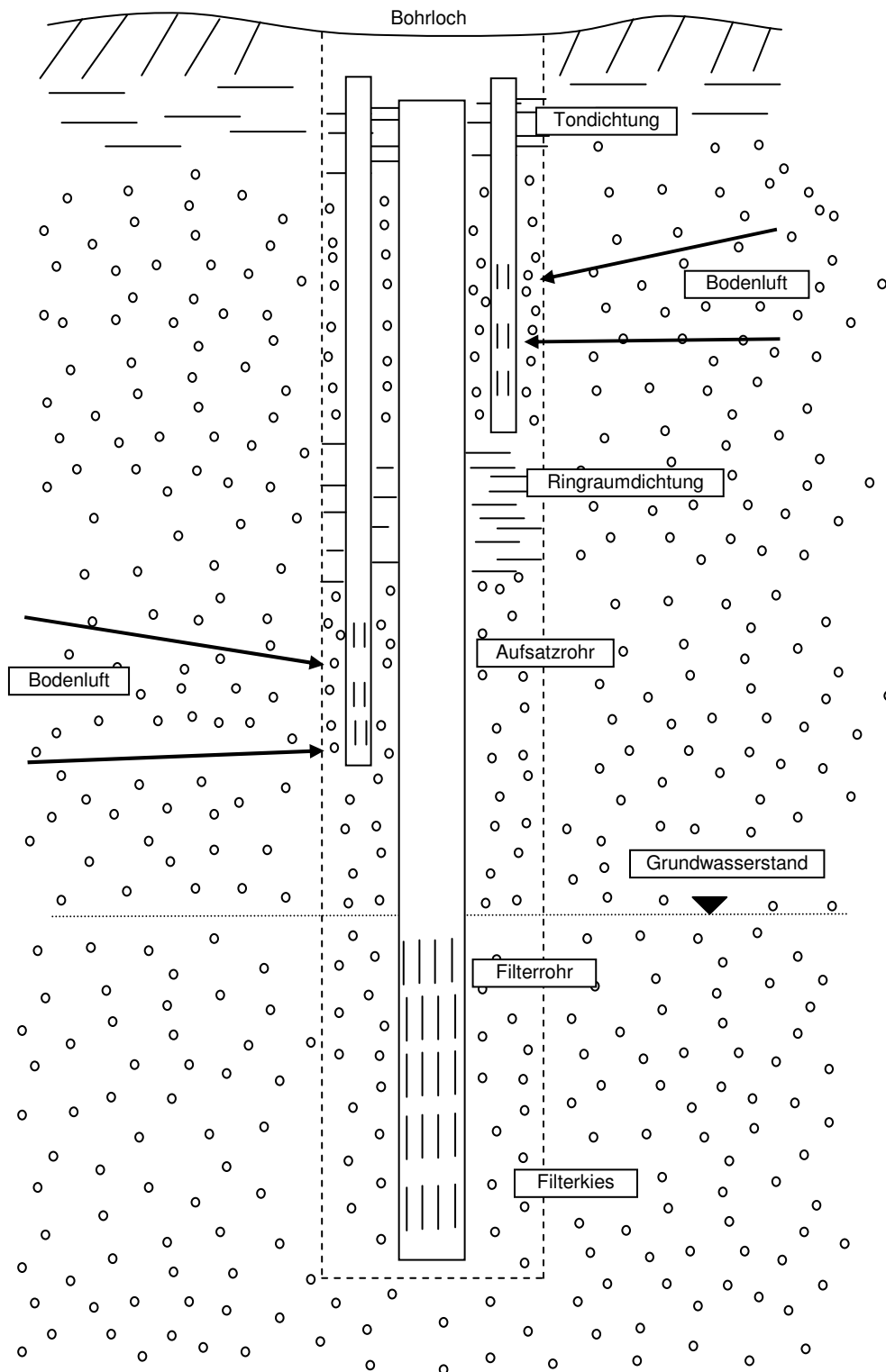
3.4 Stationäre Gaspegel

Stationäre Gaspegel sind ortsfeste Probenahmestellen zur Entnahme von Bodenluft. Stationäre Messstellen werden eingerichtet, um Probenahmen am gleichen Ort unter annähernd gleichen Randbedingungen über einen längeren Zeitraum durchführen zu können. Sie dienen zur mittel- bis langfristigen Überwachung von altlastverdächtigen Flächen/Altlasten bzw. bei laufenden Sanierungsmaßnahmen.

Der Messstellenbau erfolgt nach folgenden Grundsätzen:

- Rammkernsondierung, Trockenbohrung oder Aufschluss mit der Hohlbohrschnecke bis zur erforderlichen Endteufe niederbringen (Bohrlochdurchmesser 60 bis 160 mm).
- Einbau eines teilweise perforierten Rohres (z.B. aus PVC, HDPE, Stahl, Kupfer; Durchmesser i.d.R. 1" bis 2"), das für die Aufnahme oder den Anschluss einer Probenahmeverrichtung geeignet ist. In der Regel eignen sich zur Herstellung der Messstellen die Materialien aus dem Bereich des Brunnenbaus.
- Verfüllen des Ringraums zwischen Bohrlochwand und Rohrwandung im Bereich des Filters mit Filterkies. Die Auswahl der Körnung ist abhängig vom umgebenden Lockergestein und der Schlitzweite des Filterrohres (siehe DIN 4924, 4925).
- Abdichtung gegen das Eindringen von atmosphärischer Luft durch gasdichte Rohrverbindungen (z.B. bei PVC-Rohren Doppelmuffen mit Dichtungsringen). Der Ringraum ist mit einer Tonmehl-Zement-Suspension oder mit Quellton abzudichten. Hierbei ist der Schichtenaufbau des umgebenden Sedimentes zu beachten. Die Oberkante des Filterrohres sollte mindestens 1,0 m u. GOK liegen.
- Montage eines gasdichten Verschlusses auf dem Pegelrohr mittels Kappe, Stopfen oder Kugelhahn.
- Sollen Bodenluftproben aus unterschiedlichen Tiefen an einem Messpunkt entnommen werden, empfiehlt sich die Einrichtung von mehreren separaten Einfachmessstellen mit verschiedenen Filtertiefen und geringem Abstand zueinander.
- Es ist möglich, kombinierte Grundwasser-/Bodenluftpegel zu errichten, sofern im Ringraum der Grundwassermessstelle entsprechend abgedichtete Bereiche erstellt werden (**s. Abbildung 3, Seite 9**). Der Abschluss des Pegelrohres ist gasdicht herzustellen. Die Entnahme von Gasproben erfolgt über einen 3/4" Kugelhahn mit Schlauchanschluss.

Abbildung 3: Prinzipskizze einer Grundwassermessstelle mit zusätzlichen Bodenluftpegeln im Aufsatzrohrbereich



3.5 Vergleich der Aufschlussverfahren

Jedes der aufgeführten Aufschlussverfahren bietet je nach Fragestellung Vor- und Nachteile, sodass für die jeweiligen Anforderungen das günstigste Verfahren auszuwählen ist.

Verdrängersonde	Bohrlochverfahren	Stationäre Gaspegel
<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Preiswert und schnell - Halbquantitative Messungen vor Ort möglich - Abdichtung zur Atmosphärenluft sehr gut - Messung von Permanentgasen ist möglich - Besonders für erste orientierende Untersuchungen geeignet 	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schichtenaufbau wird erkundet - Halbquantitative Messungen vor Ort möglich - Gleichzeitige Bodenprobenahme möglich - Exakte Messungen von CO₂, CH₄, O₂ und H₂S vor Ort möglich - Gute Reproduzierbarkeit - Variable Probenahmetiefen sind möglich - Ausbau zum stationären Gaspegel möglich 	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mehrfachmessungen unter gleichen Bedingungen sind möglich - Halbquantitative Messungen vor Ort möglich - Abdichtung zur Atmosphärenluft sehr gut - Verfälschung der Messergebnisse durch Bohrvorgang ist gering - Eignung zur Testabsaugung ist vielfach gegeben
<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Untergrundaufbau muss bekannt sein - Keine Bohrgutgewinnung - Sondenspitze setzt sich leicht zu - Nur kleiner Entnahmebereich möglich - Verdichtung des Bodens im Umfeld der Sonde 	<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Höherer Zeitaufwand und höhere Kosten als bei der Verdrängersonde - Abdichtung des Bohrloches muss bei der Bodenluftentnahme überwacht werden 	<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Höherer Zeitaufwand und höhere Kosten als bei temporären Messungen - Entnahmetiefe ist durch Filterstellung festgelegt - Sicherung der Messstelle ist erforderlich - Freie Zuwegung ist sicher zu stellen

4. Bodenluftprobenahme, Messverfahren und Analytik

4.1 Allgemeines

Generell ist nach Herstellung der notwendigen Bodenaufschlüsse jedes Probenahmeverfahren sowie die nachgeschaltete Analytik frei kombinierbar. Es sind lediglich entsprechende Übergänge vom Bohrloch/Gaspegel zur eigentlichen Probenahmeeinrichtung herzustellen. Dabei folgen die verschiedenen Verfahren zur Entnahme von Bodenluftproben den gleichen Prinzipien. Aus einem Bohrloch/Gaspegel wird entweder eine definierte Menge, die von der Geometrie der Entnahmestelle abhängig ist, oder bis zur Konstanz von Permanentgasen Bodenluft abgesaugt. Die Probenahme erfolgt anschließend durch eine Vakuumpumpe mit Durchflussmessgerät oder eine Hand-Balgenpumpe mit vorgegebener Hubzahl.

4.2 Probenahmeverfahren

Beim Einsatz der **Verdrängersonde** erfolgt die Entnahme der Bodenluft über ein Kapillarrohr, welches in das Gestänge eingebaut wird. Hierbei ist es möglich, am unteren Ende des Kapillarrohres ein Adsorptionsröhrchen einzubauen, das entweder als halbquantitatives Prüfröhrchen für einen bestimmten Schadstoff oder als Adsorptionsröhrchen zur weiteren analytischen Bestimmung im Labor genutzt werden kann. Da vor dem Einbau der Kapillaronde Atmosphärenluft im Hohlrohr der Sonde vorhanden ist, muss diese Fremdluft vor der Probenahme durch Bodenluft aus dem Entnahmehorizont ausreichend ausgetauscht werden. Es ist auch möglich, an das Kapillarrohr eine Vakuumpumpe anzuschließen und die abgesaugte Bodenluft, i.d.R. mit Durchflussraten von 0,2 - 2 l/min, nachfolgend über ein On-Line-Messgerät zur Bestimmung von CO₂ und O₂ zu führen. Die Probenahme erfolgt erst nach der Gleichgewichtseinstellung der Bodengaskomponenten.

Beim Einsatz des **Bohrlochverfahrens** erfolgt die Entnahme von Bodenluft durch den Einbau eines mit einem Packer ausgerüsteten Entnahmegestänges in das offene Bohrloch. An dem Packer ist vor Beginn der Arbeiten eine Dichtigkeitsprüfung durchzuführen. Das Gestänge wird in die gewünschte Tiefe eingebaut und durch Aufblasen des Packers eine Abdichtung des Bohrloches gegen Atmosphärenluft hergestellt. Einige Systeme bieten zusätzlich eine Hilfsverrohrung aus Kunststoff zur Stützung der Bohrlochwand, um den Nachfall von Boden zu verhindern. Diese Schutzverrohrung ist an der Oberfläche zusätzlich mit einem Dichtkegel ausgestattet, sodass ein Eindringen von Atmosphärenluft in das Bohrloch weitgehend unterbunden wird.

Nach Einbau der Entnahmesonde wird eine Vakuumpumpe angeschlossen, über die Bodenluft aus dem Bohrloch abgesaugt wird. Der Entnahmefluss wird durch eine Gasuhr bestimmt und richtet sich nach der Dimension des Bohrlochs bzw. der Länge der Beprobungsstrecke. In der Regel haben sich Durchflussraten von 0,5 - 2,0 l/min als praktikabel erwiesen. Die geförderte Bodenluft wird nach Austritt aus der Pumpe über einen Bypass an ein On-Line-Messgerät zur Bestimmung von CO₂, O₂ und bei Bedarf auch anderer Permanentgase (CH₄, H₂S etc.) weitergeleitet. Da durch den Bohrvorgang und den Einbau der Entnahmesonde eine starke Veränderung der Bodenluftzusammensetzung im Bohrloch stattfindet, ist eine Absaugung der Bodenluft bis zum Erreichen von konstanten CO₂- bzw. O₂-Gehalten notwendig. Erst danach kann eine repräsentative Probenahme durchgeführt werden.

Zur Entnahme einer Bodenluftprobe aus einem **stationären Gaspegel** sollte i.d.R. eine Vakuumpumpe eingesetzt werden, die eine ausreichende Abpumpmenge sicherstellt. Zudem ist die Aufzeichnung des CO₂- und O₂-Gehaltes während der Probenahme notwendig, um definierte, reproduzierbare Messwerte zu erhalten. Sofern der Gaspegel mit einem gasdichten Kugelhahn verschlossen ist, kann eine Probenahme direkt hinter dem Kugelhahn erfolgen. Ansonsten ist das Pegelrohr vor der Probenahme mit einem Stopfen bzw. Packer abzudichten. Über ein Gestänge o.ä. ist dann die Bodenluft aus dem Pegel abzusaugen. Die eigentliche Probenahme ist erst nach Erreichen von konstanten CO₂- sowie O₂-Gehalten durchzuführen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Probenahme zwischen Entnahmestutzen und Pumpe sowie möglichst nah am Gaspegel erfolgt.

Bei laufenden Bodenluftsanierungen sind Bodenluftuntersuchungen nicht zulässig, weil eine erhebliche Störung der Bodengasverhältnisse vorliegt und Messergebnisse nicht den tatsächlichen Kontaminationsgrad der Bodenluft wiedergeben.

4.3 Vor-Ort-Messungen

Vor-Ort-Messungen dienen zur Bestimmung des Probenahmezeitpunktes bzw. zum Nachweis der vollständigen Abdichtung des Bohrloches gegen Atmosphärenluft. Hierzu werden, wie bereits in den Probenahmeverfahren beschrieben, feldtaugliche On-Line-Messgeräte (Deponiegasanalytoren) für die Permanentgase **Sauerstoff** und **Kohlendioxid** eingesetzt. Gleichzeitig ist die Messung von Methan und teilweise Schwefelwasserstoff möglich. Die Geräte sollten kalibrierfähig sein, um die Vor-Ort-Werte als verlässliche Datengrundlage zur Bewertung heranziehen zu können.

Um während der Probenahme bereits einen orientierenden Eindruck über das vermutete Schadstoffinventar zu erhalten, werden halbquantitative, **direktanzeigende Prüfröhrchen** eingesetzt. Verlässliche Ergebnisse können hiermit jedoch erst bei höheren Schadstoffkonzentrationen erhalten werden. Beim Vorhandensein komplexer Stoffgemische oder auch chemisch sehr ähnlicher Komponenten ist auf Quersensitivitäten zu achten. Prüfröhrchen können bei allen beschriebenen Probenahmeverfahren zum Einsatz kommen. In der Regel wird hierbei eine definierte Menge Bodenluft mit einer elektrisch betriebenen Pumpe oder Hand-Balgenpumpe durch das entsprechende Prüfröhrchen gesaugt. Gängige Prüfröhrchen zur Bodenlufterkundung sind in der **Anlage 1** aufgeführt.

Prüfröhrchen werden bei bekanntem Schadstoffinventar im Wesentlichen zur Ermittlung von Probenahmepunkten (Eingrenzung von Schadstoffbereichen) vor Ort eingesetzt.

In Einzelfällen können mobile **Gaschromatographen (GC)** bzw. **Gaschromatographen mit gekoppelter Massenspektroskopie (GC-MS)** für Vor-Ort-Messungen eingesetzt werden. Diese Geräte sind auf die Identifizierung und Quantifizierung organischer Stoffe in der Bodenluft beschränkt.

Eine umfassende Auflistung von Messgeräten zur Vor-Ort-Analytik, auch für weitere Parameter, findet sich z.B. in den Materialien zur Altlastenbearbeitung 1/99, Vor-Ort-Analytik, des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie.

4.4 Proben und Laboranalytik

Zur Bestimmung von Schadstoffen in der Bodenluft sind sowohl die Entnahme von Direktproben als auch eine Probenahme mit adsorptiver Anreicherung möglich. Die **Direktprobenentnahme** erfolgt in Gasmäuse, Gasbeutel, Head-Space- oder Septumflaschen. Bei der Befüllung von Gasmäusen ist darauf zu achten, dass das Volumen mindestens 2-fach mit der zu bestimmenden Bodenluft ausgetauscht wird. Zur Vermeidung von Druckdifferenzen sind die beiden Absperrhähne gleichzeitig zu schließen.

Wenn geringe Mengen organischer Schadstoffe nachgewiesen werden sollen, erfolgt die Probenahme mit **adsorptiver Anreicherung** der Schadstoffe aus der Bodenluft auf einem Festbett (Aktivkohle oder XAD-Harz). Mit einer entsprechenden Gasteilungsapparatur können auch parallel mehrere Proben entnommen werden. Hierbei sind die Beladungskapazitäten der unterschiedlich großen Röhrchen zu beachten. Vor einer analytischen Bestimmung müssen die adsorbierten Schadstoffe dann zunächst mit einem Lösungsmittel vom Festbett desorbiert werden. Es sollten generell nur Adsorberröhrchen mit getrennter Sicherheitszone verwendet werden, über die ein Durchschlagen der Schadstoffe bei hohen Gehalten überprüft werden kann.

Grundsätzlich sollten Gasproben umgehend verarbeitet werden, um Minderbefunde zu vermeiden. Unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen sind jedoch (möglichst kurze) Lagerungszeiten möglich. Bei **Direktproben** ist eine Lagerung unter Verwendung geeigneter Septen bei Umgebungstemperatur und im Dunkeln in Abhängigkeit von der Substanz und der Konzentration bis zu acht Tagen möglich. Bei Proben mit Anreicherung wird das **Adsorptionsröhrchen** aus der Apparatur entnommen und mit Schutzkappen aus Kunststoff verschlossen. Die Proben sollten bruchstabil verpackt und transportiert werden, wobei sich eine Lagerung in Aluminiumfolie bzw. geschlossenen Braunglasflaschen bewährt hat. Eine Lagerzeit dieser Proben von drei Tagen, gekühlt bei 4 °C und im Dunkeln, sollte nicht überschritten werden. Alternativ kann das zur Anreicherung verwendete Adsorptionsröhrchen mit dem vorgesehenen Lösungsmittel eluiert werden. Das in gasdicht verschließbare Probenfläschchen abgefüllte Eluat kann bis zu vier Wochen im Dunkeln bei 4 °C gelagert werden.

Zur Analyse von Blindwertproben ist die gleiche Probenahmeart und Analytik durchzuführen wie bei den Bodenluftproben. Dies gilt ebenso hinsichtlich der Vergleichbarkeit von zeitlich aufeinander folgenden Bodenluftbeprobungen.

4.5 Vergleich der Direkt- und Anreicherungsverfahren

Direktverfahren			Anreicherung
Headspace-Gläschen	Gasmaus/ Gasbeutel	GC Vor-Ort-Analytik	Aktivkohle, XAD-Harz
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> - Die Probe ist mit der Stoffzusammensetzung der Bodenluft in situ identisch - Laboranalyse der Permanentgase bedingt möglich 	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> - Mehrfachanalysen möglich - Durch größere Probenmenge auch Permanentgase analysierbar - Die Probe ist mit der Stoffzusammensetzung der Bodenluft in situ identisch 	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> - Ergebnis liegt sofort vor - Anzahl der Proben für Laboruntersuchung kann ggf. reduziert werden - Möglichkeit der sofortigen Eingrenzung von Schadensherden 	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> - Mehrfachanalysen möglich - Niedrige Nachweisgrenzen durch Anreicherung
Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> - Evtl. zu geringes Probenvolumen - Fremdluftzutritt bei undichten Septen möglich 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> - Eingeschränkte Lagerfähigkeit - Adsorptionseffekte sowie Kondensationseffekte am Probenahmematerial möglich 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> - Hoher apparativer Aufwand vor Ort - Eingeschränkte Genauigkeit 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> - Ad- und Desorption einzelner Verbindungen der Probe evtl. nicht vollständig - Verdrängungsreaktionen bei der Adsorption

4.6 Probentransport und Lagerung

Bei der Probenahme, dem Transport und der ggf. erforderlichen Lagerung der Proben ist darauf zu achten, dass Kontaminationen der Proben durch flüchtige organische Verbindungen, z.B. durch Abgase des Stromerzeugers, Kraftstoffe, Zigarettenrauch etc., vermieden werden.

Darüber hinaus sind die Proben gegen direktes Sonnenlicht zu schützen und gekühlt zu transportieren.

5. Dokumentation

Zur Dokumentation der Bodenluftprobenahme ist ein **Probenahmeprotokoll** anzufertigen (s. **Anlage 2**).

Bei der Durchführung des Bohrlochverfahrens sowie der Errichtung von stationären Gaspegeln ist ein **Schichtenverzeichnis** des Bodenaufbaus gemäß DIN 4022 in Verbindung mit DIN 4023 für jede Probenahmestelle anzufertigen.

6. Qualitätssicherung

Unabhängig von der gewählten Probenahmevariante sind für eine qualifizierte Bodenluftprobenahme folgende qualitätssichernde Maßnahmen unerlässlich:

- Die Bohrwerkzeuge zur Herstellung der Bodenaufschlüsse sind nach jeder Bohrung gründlich mit klarem Wasser zu reinigen, um Verschleppungen von Schadstoffen zu vermeiden.
- Die für die Probenahme erforderlichen Geräte sind vor jeder Probenahme zu reinigen. Ebenso sind anhaftende Bodenpartikel an den Entnahmegestängen zwischen jedem Probenahmepunkt zu entfernen.
- Es ist sicher zu stellen, dass keine atmosphärische Luft die Bodenluftprobe beeinflusst. Zur Identifikation von atmosphärischen Außenluftanteilen bei Entnahme von größeren Bodenluftvolumina ist die Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration in der Bodenluft zu bestimmen.
- Der Kohlendioxidgehalt der Bodenluft ist auf Grund mikrobiologischer Abbauvorgänge höher als in der Außenluft. Durch die kontinuierliche Messung des Kohlendioxidgehaltes während der Probenahme kann die Dichtigkeit des gesamten Messsystems bewertet und ggf. nachgebessert werden.
- Die Entnahmeapparatur ist durch regelmäßige Dichtigkeitsprüfungen zu überprüfen. Während der Bodenluftentnahme ist der Unterdruck laufend zu kontrollieren.
- Die bei den Vor-Ort-Messungen eingesetzten Messgeräte sind regelmäßig zu warten und mit entsprechenden Prüfgasen zu kalibrieren. Die Prüfungen sind zu dokumentieren.
- Die Durchflussrate ist den Untergrundverhältnissen und der gewählten Probenahmestrecke anzupassen sowie möglichst klein und konstant bei gleichem Unterdruck zu halten.
- Die Vergleichbarkeit von Analyseergebnissen bei Bodenluftuntersuchungen an aufeinanderfolgenden Tagen ist zu gewährleisten. Hierzu wird empfohlen, bei deutlich abweichenden Probenahmebedingungen von Tag zu Tag (Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit etc.) an einer Messstelle überlappend zu beproben. Hieraus können evtl. Abweichungen bzw. Fehler abgeschätzt werden, um die Messreihen zu korrelieren.
- Die exakte und dauerhafte Beschriftung der Proben vor Ort sofort nach deren Entnahme ist erforderlich, um spätere Verwechslungen zu vermeiden.

7. Anlagen

Anlage 1: Gebräuchliche direktanzeigende Prüfröhrchen für die Bodenluftprobenahme

Anlage 2: Probenahmeprotokoll

8. Literatur

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTOR-SICHERHEIT (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).

DIN 4022-3 (1982): Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein), 10 S.

DIN 4023 (1984): Baugrund- und Wasserbohrungen. Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse, 11 S.

DRÄGER WERK AG (1997): Dräger-Röhrchen-Handbuch 11. Auflage - Boden-, Wasser- und Luftuntersuchungen sowie technische Gasanalyse. - Drägerwerk Aktiengesellschaft Lübeck, 380 S.

HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 263 (1999): Fachliche Grundlagen zur Beurteilung von flüchtigen organischen Substanzen in der Bodenluft bei Altlasten. - Wiesbaden, 138 S.

HUBBEL, J.M., WOOD; T.R., HIGGS, B., WYLIE; A.H. & McELROY, D.L. (1998): Design, Installation, and Uses of Combination Ground Water and Gas Sampling Wells. Ground Water Monitoring and Remediation 15/1, 124 – 157; Westerville Ohio.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1993): Verfahrensempfehlung für die Probenahme bei Altlasten (Boden, Abfall, Grund-, Sickerwasser, Bodenluft). Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle Baden-Württemberg, 51 S. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung (<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/alfaweb/index.html>).

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA) - ALTLASTENAUSSCHUSS (ALA) ARBEITSGRUPPE QUALITÄTSSICHERUNG IN DER ALTLASTENBEARBEITUNG (1998): Teilthema 2.2: Gewinnung von Boden-, Bodenluft- und Grundwasserproben. - Beitrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz S. 26-37.

KANITZ, J. (o.J.): Erkundung von Schadstoffausbreitung durch Bodenluftuntersuchungen. - Manuskript 13 S.

KÖSTER, M. & HOLZWARTH, W. (1988): Der Einsatz von Prüfröhrchen zur Erfassung von Bodenluftkontaminationen durch leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe. - Drägerheft 341; Drägerwerk Lübeck.

NEUMAYR, V. (1983): Möglichkeiten und Grenzen der Erfassung von Untergrundverunreinigungen durch halogenierte Kohlenwasserstoffe. - DVGW-Schriftenreihe Wasser, Heft 36: 35 – 63; Eschborn.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998): Materialien zur Altlastenbearbeitung 3/1998 - Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten. S. 43 – 51; Radebeul (<http://www.lfug.de/veroeffentlichungen/verzeichnis/Abfall-Altlasten/>).

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1999): Materialien zur Altlastenbearbeitung 1/1999 - Vor-Ort-Analytik. 79 S. - Radebeul (<http://www.lfug.de/veroeffentlichungen/verzeichnis/Abfall-Altlasten/>).

STITZ MESSGERÄTE + APPARATE (o.J.): Die Stitz-Bodenluftsonde S-2387. Eigendruck, Gehrden.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1992): Messen organischer Bodenverunreinigungen; Messen leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe; Messplanung für Bodenluft-Untersuchungsverfahren. - VDI-Richtlinie 3865 Blatt 1, 28 S.; Beuth-Verlag, Berlin.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1998): Messen organischer Bodenverunreinigungen - Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben. - VDI-Richtlinie 3865 Blatt 2, 28 S.; Beuth-Verlag, Berlin.

VERWALTUNGSVEREINBARUNG OFD HANNOVER-BAM vom 15.9.95: Anforderungen an Untersuchungsmethoden zur Erkundung und Bewertung kontaminationsverdächtiger/kontaminierter Flächen und Standorte auf Bundesliegenschaften, 14 S., (Stand 6/98) (<http://www.ofd-Hannover.de/BGWS/BGWSDocs/>).

Anlage 1**Gebräuchliche direktanzeigende Prüfröhrchen für die Bodenluftprobenahme**

Prüfröhrchen	Kalibrierung gültig für	Messbereich (20 °C, 1013 hPa)	Farbumschlag
Benzinkohlenwasserstoffe 10/a	n-Octan	10 - 300 ppm	braungrün
Benzinkohlenwasserstoffe 100/a	n-Octan	100 - 2500 ppm	braungrün
Benzol 0,5/a	Benzol	0,5 - 10 ppm	hellbraun
Benzol 2/a	Benzol	2 - 60 ppm	braungrau
Chloroform 2/a	Chloroform	2 - 10 ppm	gelb
Erdgastest		qualitativ	braungrün grau- violett
Kohlenstoffdioxid 0,1 %/a	Kohlenstoffdioxid	0,1 - 0,6 Vol.-%	blauviolett
Kohlenstoffdioxid 0,5 %/a	Kohlenstoffdioxid	0,5 - 10 Vol.-%	blauviolett
Kohlenstoffdioxid 5 %/a	Kohlenstoffdioxid	5 - 60 Vol.-%	blauviolett
Mercaptan 0,5 %	Mercaptan	0,5 - 5 ppm	gelb
Methylenchlorid 100/a	Dichlormethan	100 - 2000 ppm	blaugrün
Perchlorethylen 0,1 %/a	Tetrachlorethen	0,1 - 4 ppm	graublau
Perchlorethylen 2/a	Tetrachlorethen	2 - 300 ppm	graublau
Perchlorethylen 10/b	Tetrachlorethen	10 - 500 ppm	orange
Polytest		qualitativ	
Schwefelwasserstoff 0,2/a	Schwefelwasserstoff	0,2 - 5 ppm	hellbraun
Tetrachlorkohlenstoff 1/a	Tetrachlorkohlenstoff	1 - 15 ppm	gelb
Toluol 5/b	Toluol	5 - 300 ppm	hellbraun
Toluol 50/a	Toluol	50 - 400 ppm	braun
Trichlorethan 50/d	1.1.1-Trichlorethan	50 - 600 ppm	braunrot
Trichlorethen 2/a	Trichlorethen	2 - 250 ppm	orange
Trichlorethen 50/a	Trichlorethen	50 - 500 ppm	orange
Vinylchlorid 1/a	Vinylchlorid	1 - 50 ppm	gelborange
Xylol 10/a	o-Xylol	10 - 400 ppm	rotbraun

Anlage 2

Probenahmeprotokoll Bodenluft

Probenehmende Stelle:	Auftraggeber:	Projekt:
------------------------------	----------------------	-----------------

Bezeichnung der Messstelle: _____
 Anschrift: _____
 Datum der Probenahme: _____

Gasmessstelle

Art der Messstelle:	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Durchmesser:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	mm
Messpunktbezeichnung:	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Messpunkthöhe:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	m NN
Messstellentiefe:	<input style="width: 30%;" type="text"/> m u. MP	Volumenstrom:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	Liter/min
Wasserstand:	<input style="width: 30%;" type="text"/> m u. MP	Entnahmetiefe:	<input style="width: 80%;" type="text"/>	m u. MP

Probenahmegeräte

<input type="checkbox"/>	Gasmesssonde	_____
<input type="checkbox"/>	Bodenluftpumpe	_____
<input type="checkbox"/>	Deponiegasanalysator	_____

Totvolumen der Sonde in l _____

Meteorologische Daten

Lufttemperatur in °C: _____
 Luftdruck in hPa: _____
 relative Feuchte in %: _____
 Wetter: _____

Beobachtungen und Messungen

an der Messstelle zur Bestimmung des Probenahmezeitpunktes

	Zeit		CO ₂	CH ₄	Sauerst.	Gasuhr
	h	min	Vol %	Vol %	Vol %	Liter
Beginn						
Probe- nahme						

Schichtenverzeichnis

(unmassstäblich)
GOK

Vor-Ort-Messungen

Vorteströhrchen:

Messergebnis:

Probenahme

Probenahme ab: <input style="width: 50px;" type="text"/> Uhr	nach Abpumpen von: <input style="width: 50px;" type="text"/> Liter
Art der Probensammlung: Adsorptionsröhrchen <input style="width: 50px;" type="text"/>	Gassammelgefäß <input style="width: 50px;" type="text"/>

<p>1. Probe</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Uhrzeit</td> <td style="width: 50%;">Gasuhr in L</td> </tr> <tr> <td>Beginn der Probenahme:</td> <td><input style="width: 100px;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Ende der Probenahme:</td> <td><input style="width: 100px;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Entnommene Gasmenge:</td> <td><input style="width: 100px;" type="text"/> Liter</td> </tr> <tr> <td>Volumenstrom:</td> <td><input style="width: 100px;" type="text"/> Liter/min</td> </tr> </table> <p>Probenummer: <input style="width: 150px;" type="text"/></p> <p>Bemerkungen: _____</p>	Uhrzeit	Gasuhr in L	Beginn der Probenahme:	<input style="width: 100px;" type="text"/>	Ende der Probenahme:	<input style="width: 100px;" type="text"/>	Entnommene Gasmenge:	<input style="width: 100px;" type="text"/> Liter	Volumenstrom:	<input style="width: 100px;" type="text"/> Liter/min	<p>2. Probe</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Uhrzeit</td> <td style="width: 50%;">Gasuhr in L</td> </tr> <tr> <td>Beginn der Probenahme:</td> <td><input style="width: 100px;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Ende der Probenahme:</td> <td><input style="width: 100px;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Entnommene Gasmenge:</td> <td><input style="width: 100px;" type="text"/> Liter</td> </tr> <tr> <td>Volumenstrom:</td> <td><input style="width: 100px;" type="text"/> Liter/min</td> </tr> </table> <p>Probenummer: <input style="width: 150px;" type="text"/></p>	Uhrzeit	Gasuhr in L	Beginn der Probenahme:	<input style="width: 100px;" type="text"/>	Ende der Probenahme:	<input style="width: 100px;" type="text"/>	Entnommene Gasmenge:	<input style="width: 100px;" type="text"/> Liter	Volumenstrom:	<input style="width: 100px;" type="text"/> Liter/min
Uhrzeit	Gasuhr in L																				
Beginn der Probenahme:	<input style="width: 100px;" type="text"/>																				
Ende der Probenahme:	<input style="width: 100px;" type="text"/>																				
Entnommene Gasmenge:	<input style="width: 100px;" type="text"/> Liter																				
Volumenstrom:	<input style="width: 100px;" type="text"/> Liter/min																				
Uhrzeit	Gasuhr in L																				
Beginn der Probenahme:	<input style="width: 100px;" type="text"/>																				
Ende der Probenahme:	<input style="width: 100px;" type="text"/>																				
Entnommene Gasmenge:	<input style="width: 100px;" type="text"/> Liter																				
Volumenstrom:	<input style="width: 100px;" type="text"/> Liter/min																				

Datum: _____ Unterschrift Probenehmer: _____