

Brunnen-, Messstellen-, Bohr- und Sondierarbeiten
Merkblätter zur Qualitätssicherung

Merkblatt Nr. 9

Entnahme von Bodenluft- und Deponiegasproben

[Merkblattsammlung im Internet](#)

Impressum

Herausgeber:

Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
Neuenfelder Straße 19 | 21109 Hamburg

Redaktion:

Amt für Wasser, Abwasser und Geologie
Amt für Agrarwirtschaft, Bodenschutz und Altlasten
Arbeitskreis Qualitätssicherung

unter Mitarbeit von:

NORDHEIDE GEOTECHNIK
Strahlendorff & Schulze GmbH
Überm Stegen 3 | 21279 Hollenstedt

IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft
Prof. R. Stegmann und Partner
Schellerdamm 19 – 21 | 21079 Hamburg

Ansprechpersonen:

Ragnhild Hummel
Telefon: 040 / 428 40-41 81
E-mail: ragnhild.hummel@bukea.hamburg.de

Silja Böhm
Telefon: (040) 428 40-53 25
E-mail: silja.boehm@bukea.hamburg.de

E-mail: bodenschutz-altlasten@bukea.hamburg

Stand:

November 2023

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkungen	4
2. Geltungsbereich	5
3. Herstellung der Probenahmestelle	5
3.1 Allgemeines	5
3.2 Verdrängersonde (nur für Bodenluftproben)	6
3.3 Bohrlochverfahren	7
3.4 Stationäre Gasmessstelle	7
3.5 Vergleich der Probenahmestellen	9
4. Probenahme, Messverfahren und Analytik	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Probenahmeverfahren	9
4.3 Vor-Ort-Messungen (Direktverfahren)	10
4.4 Probenahme mit Laboranalytik	10
4.5 Vergleich der Direkt- und Anreicherungsverfahren	11
4.6 Probentransport und Lagerung	11
5. Dokumentation	11
6. Qualitätssicherung	12
7. Anlagen	12
8. Literatur	12

1. Vorbemerkungen

Das Merkblatt Nr. 9 liefert im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch (Pfad Bodenluft) Hinweise zur Untersuchung von flüchtigen Stoffen und Deponiegas. Nachfolgende Hinweise gelten sowohl für Bodenluft- als auch Deponiegasuntersuchungen, sofern keine explizite Unterscheidung getroffen wird.

Im Rahmen von Gefährdungsabschätzungen auf altlastverdächtigen Flächen bzw. Altlasten, insbesondere auf Altablagerungen, stellen Bodenluftmessungen häufig eine erste orientierende Untersuchung bei Verdacht auf leichtflüchtige organische Schadstoffe oder Deponiegas dar.

Sowohl die Bodenluft und die in ihr enthaltenen flüchtigen Schadstoffe als auch Deponiegasbestandteile befinden sich in komplexen Wechselwirkungen des Drei-Phasen-Systems aus Feststoff (Boden / Abfall), Wasser und Bodenluft/Deponiegas. Dieses dynamische System wird zudem von zahlreichen äußeren Faktoren beeinflusst.

Als Schadstoffe im Rahmen der Altlastenbearbeitung und Erkundung von Altablagerungen sind insbesondere die Substanzen der folgenden Stoffgruppen relevant:

- » leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW)
- » einkernige, aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)
- » weitere niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe (z. B. MKW)
- » in Ausnahmefällen auch weniger flüchtige Substanzen (z. B. Phenole) bei höheren Konzentrationen
- » Hauptkomponenten des Deponiegases (insbesondere CH_4 und CO_2) sowie Spurenstoffe (H_2S , ggf. auch CKW, FCKW)

Die Ausgangssubstanzen liegen bei Altlasten häufig flüchtig vor, so dass sie durch Versickerung sowie durch Schadensfälle in den Boden gelangen können. Auch über eine Ausgasung aus belastetem Grundwasser können Schadstoffe in die ungesättigte Bodenzone gelangen. Demgegenüber wird Deponiegas durch mikrobielle und biochemische Umsetzungsvorgänge organischer Abfall- und Bodenbestandteile unter anaeroben Bedingungen gebildet, wobei die Gaszusammensetzung sich aufgrund von Sorptionsvorgängen, luftatmosphärischen Einflüssen und Verdünnungseffekten räumlich und zeitlich verändern kann.

Bodenluftmessungen kommen bei der Lokalisierung von möglichen Schadstoffeintragstellen („Quellensuche“) und der Eingrenzung von kontaminierten Bodenzonen, 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 – 4, verwiesen. Generell ist vor der Ausführung von Messungen die Aufstellung eines standortspezifischen Probenahmeplans unerlässlich. In ihm sind für deponiegasemittierende Standorte ggf. mögliche Gasmigrationsvorgänge in das Umfeld des Quellenbereichs zu berücksichtigen.

Entsprechend der Aufgabenstellung werden Bodenluftuntersuchungen entweder in (temporären) Messstellen oder als Wiederholungsmessungen bzw. zur Durchführung von Absaugversuchen in geeigneten ortsfesten (stationären) Gasmessstellen durchgeführt. Deponiegasuntersuchungen erfolgen i. d. R. an stationären Gasmessstellen, deren Lage als Bestandteil des Probenahmeplans im Vorfeld der Untersuchungen mit der zuständigen Behörde abzustimmen ist. Temporäre Messstellen kommen hier allenfalls zur Vorerkundung geeigneter Positionen für stationäre Gasmessstellen in Betracht.

Verfahren zur Bodenluftuntersuchung sind Konventionsverfahren. Daher sind Messdaten aus Bodenluftuntersuchungen nur dann miteinander vergleichbar, wenn sie unter ähnlichen Probenahme- und Messbedingungen ermittelt wurden. Daraus folgt, dass bei mehreren Schadstoffgruppen hauptsächlich Konzentrationsunterschiede ermittelt werden, die sich aus dem Vergleich zur Hintergrundbelastung, die für jeden Standort im Einzelfall zu bestimmen ist, ergeben.

Die Ergebnisse von Bodenluftuntersuchungen können konkrete Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast aufzeigen und somit Anlass zu weiteren Maßnahmen im Rahmen einer Detailuntersuchung geben, die auch Innenraumluftmessungen beinhalten können. Deponiegas weist auf das Vorhandensein einer Altablagerung hin, so dass insbesondere eine mögliche Gefährdung durch explosive Gasgemische zu untersuchen und zu bewerten ist.

2. Geltungsbereich

Die wichtigsten Verfahren zur Bodenluft- und Deponiegasuntersuchung sollen hier vorgestellt werden. Sie zeichnen sich bei fachlich einwandfreier Ausführung durch weitgehend reproduzierbare Ergebnisse aus, was für die weitere Bewertung von entscheidender Bedeutung ist.

Außerdem werden verbindliche Qualitätssicherungsmaßnahmen vorgegeben, die die Vergleichbarkeit der Messergebnisse weiter erhöhen.

Die Gültigkeit dieses Merkblattes umfasst gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz sowohl die Untersuchung von schädlichen Bodenveränderungen, Verdachtsflächen, Altlasten und altlastverdächtigen Flächen (inkl. Altstandorte) als auch von Altablagerungen. Durch dieses Merkblatt werden bereits bestehende Richtlinien zur Entnahme von Bodenluftproben (VDI-Richtlinie 3865, Blatt 1–4), die gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) gelten, bzw. Deponiegasproben (VDI-Richtlinie 3860, Blatt 1–4) nicht ersetzt.

3. Herstellung der Probenahmestelle

3.1 Allgemeines

Grundsätzlich sind zwei Entnahmearten von Bodenluft und Deponiegas zu unterscheiden:

1. einphasige Probenentnahme, (z. B. Verdrängersonde) siehe Kapitel 3.2,
2. zweiphasiges Verfahren durch konventionelle Trockenbohrung mit der Gewinnung von Probenmaterial (Boden- bzw. Abfallfeststoffproben); anschließend Entnahme einer Bodenluftprobe (Bohrlochverfahren; siehe Kapitel 3.3) bzw. Durchführung von Deponiegasuntersuchungen an stationären Gasmessstellen (siehe Kapitel 3.4).

Folgende Bedingungen sind generell bei der Herstellung von Probenahmestellen zu berücksichtigen:

- » Der Bodenaufbau muss möglichst bis zum Grundwasserspiegel erkundet sein (Auswertung bereits vorliegender Schichtenverzeichnisse vor der Bohrung), 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. Bei Altablagerungen ist zusätzlich eine organoleptische Ansprache des Bohrguts vorzunehmen.

- » Die Entnahmetiefe sollte bei der Bodenluftprobenahme mindestens 1 m unter Geländeoberkante (GOK) liegen, 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.) und für erste orientierende Deponiegasuntersuchungen (z.B. zur Auswahl geeigneter Messpunkte) mit temporären Probenahmesonden können auch geringere Probenahmetiefen gewählt werden.
- » Eine sorgfältige Abdichtung des Bohrlochs gegen das Ansaugen von Außenluft ist unbedingt erforderlich (z. B. Packer, Dichtkegel, Quellton bei stationären Messstellen).
- » Während der Probenahme ist die Abdichtung des Bohrloches über die Druckanzeige des Packers, die Unterdruckanzeige der Bodenluft-/Messgaspumpe sowie über die Messung des CH_4 -, CO_2 - und O_2 -Konzentrationen der / des geförderten Bodenluft / Deponiegases kontinuierlich zu überwachen.

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 bzw. die Funktionstüchtigkeit mobiler Multigasmesgeräte signifikant eingeschränkt ist.

- » Nach der Probenahme ist die Bodenluft-Sonde bei erhöhtem Durchfluss mit Frischluft zu reinigen, um mögliche Verschleppungseffekte von Messpunkt zu Messpunkt auszuschließen (ohne Relevanz bei „reinen“ Deponiegasmessungen).
- » Für vergleichende Bodenluft-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 (ohne Relevanz bei „reinen“ Deponiegasmessungen).
- » In bindigen Böden und bei Vorhandensein von freiem Wasser im Probenahmebereich bzw. wassergesättigten Zonen in Altablagerungen ist zu beachten, dass nur geringe Gas-/Bodenluftvolumina entnommen werden können bzw. auf Grund zu geringer Förderraten eine qualifizierte Probenahme nicht möglich ist.

» Zur sicheren 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 6 Merkblatt Nr. 9 | Entnahme von Bodenluft- und Deponiegasproben 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 (nur für Bodenluftproben)

Bei diesem Verfahren erfolgt die Probenahme in einer Kombination aus Sondier- und Messvorgang (einphasiges Verfahren):

1. Die Rammsonde wird in die gewünschte Entnahmetiefe geschlagen.
2. Durch leichtes Anziehen der Rammsonde bei Erreichen der Endtiefe entsteht ein Hohlraum. Durch Einführen des Kapillargestänges wird der 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.

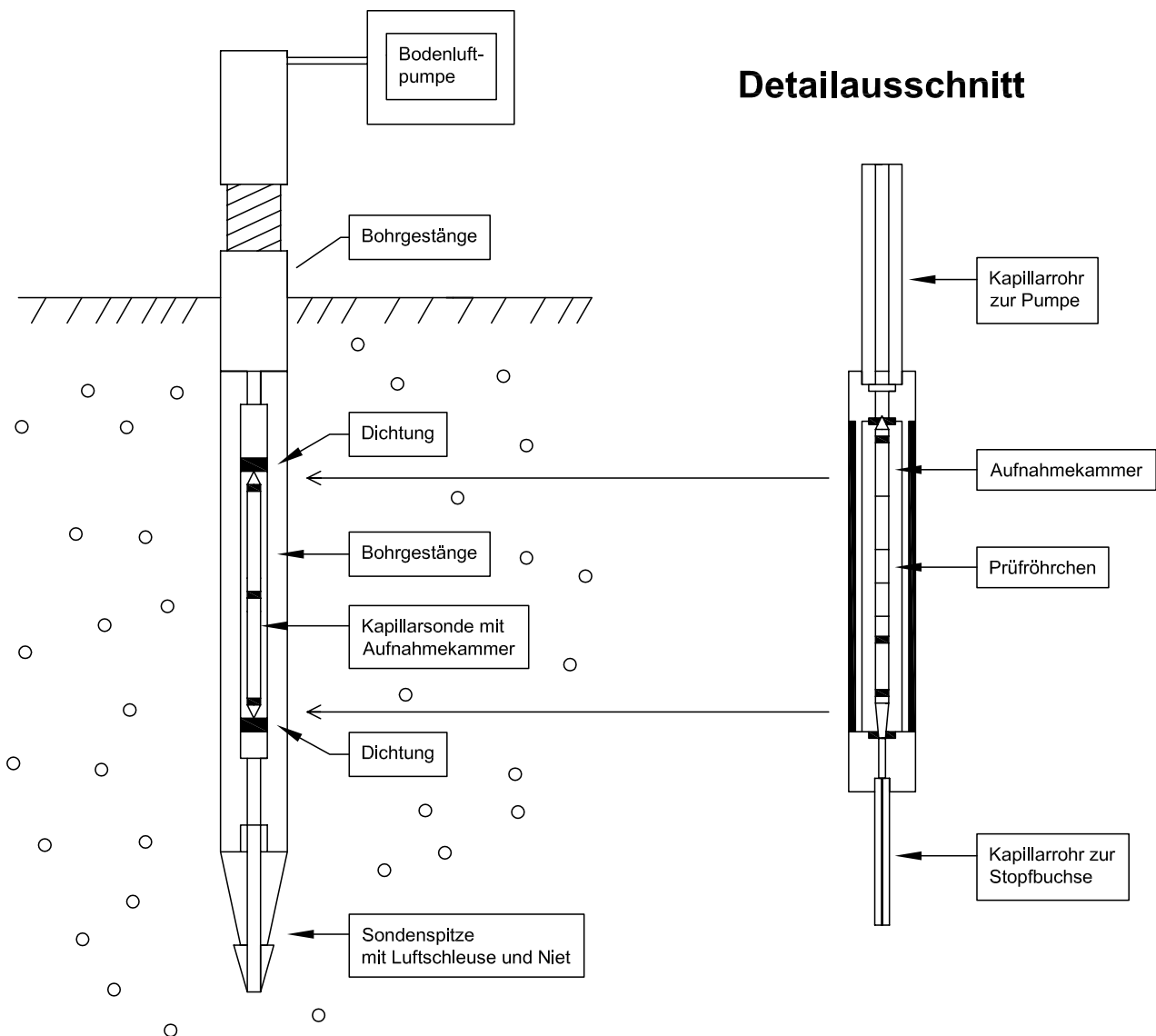


Abbildung 1: Prinzipskizze eines Bodenluftentnahmesystems mit kombiniertem Bohr- und Messvorgang (Verdrängersonde)

3.3 Bohrlochverfahren

Beim Bohrlochverfahren handelt es sich um ein zweiphasiges Verfahren, bei dem neben der Bestimmung der Schadstoffgehalte auch der Untergrundaufbau erfasst werden kann und die Entnahme von Feststoffproben möglich ist. 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 7 Merkblatt Nr. 9 | Entnahme von Bodenluft- und Deponiegasproben mit außenliegender Schnittkante einzusetzen. Das gewonnene Bodenprofil wird in einem Schichtenverzeichnis gemäß DIN EN ISO 22475-1 erfasst und dokumentiert.

In der zweiten Phase wird eine Messsonde in das Bohrloch eingeführt (s. Abbildung 2). Mittels eines tiefenvariablen Packers wird das Bohrloch in der gewünschten Tiefe gegen nachströmende Atmosphärenluft abgedichtet.

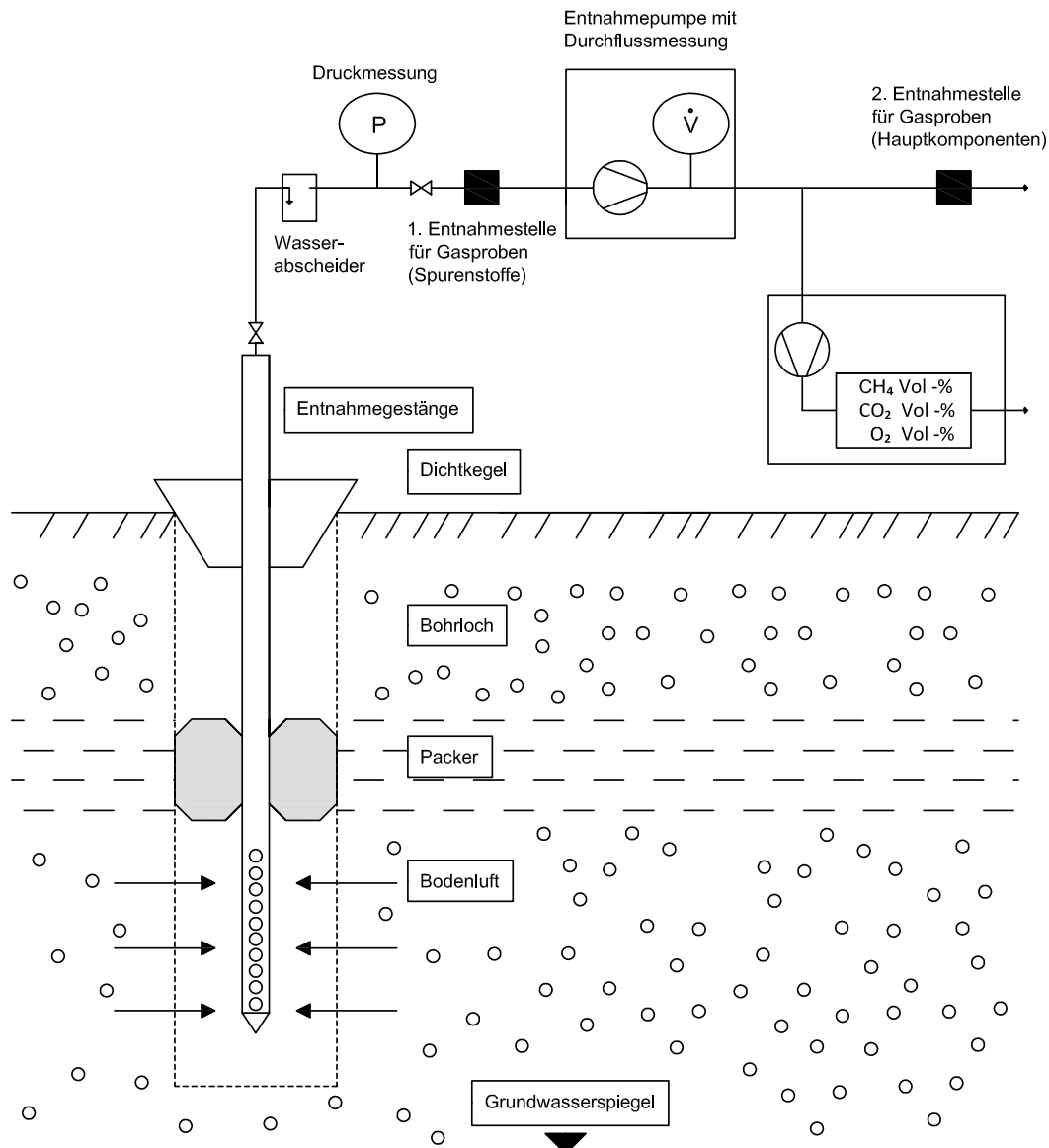


Abbildung 2: Prinzipskizze eines Bodenluftentnahmesystems mit separatem Bohr- und Messvorgang (Bohrlochverfahren)

3.4 Stationäre Gasmessstelle

Stationäre Gasmessstellen sind ortsfeste Probenahmestellen zur Entnahme von Bodenluft und Deponiegas. Sie 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. Altablagerungen sowie bei Sanierungsmaßnahmen.

Der Messstellenbau erfolgt nach folgenden Grundsätzen:

- » Rammkernsondierung, Trockenbohrung oder Aufschluss mit der Hohlbohrschnecke bis zur erforderlichen Endteufe niederbringen (Bohrlochdurchmesser 60 bis 220 mm).
- » Einbau eines teilweise perforierten Rohres (z.B. aus PVC, HDPE, Stahl; Durchmesser 1" bis 4"), das für die Aufnahme oder den Anschluss einer Probenahmeverrichtung geeignet ist. In der Regel eignen sich die herkömmlichen Materialien aus dem Bereich des Brunnenbaus.
- » Verfüllen des Ringraums zwischen Bohrlochwand und Rohrwandung im Bereich und min. 0,5 m oberhalb des Filterrohres 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. Der Ringraum ist mit einer Tonmehl-Zement-Suspension oder mit Quellton abzudichten. Hierbei ist der Schichtenaufbau des umgebenden Sediments/Bodenmaterials zu beachten. Die Oberkante des Filterrohres sollte mindestens 1,0 m unter GOK liegen.
- » Montage eines gasdichten Verschlusses auf dem Messstellenrohr mittels Kappe, Stopfen und Kugelhahn mit Schlauchanschluss (angepasst an Standortbedingungen, ggf. gegen unbefugten Zugriff zu sichern).
- » Sollen Bodenluft- oder Deponiegasproben aus unterschiedlichen Tiefen an einem Messpunkt entnommen werden, empfiehlt sich die Einrichtung von mehreren separaten Messstellen mit verschiedenen Filtertiefen und geringem Abstand zueinander.
- » Es ist möglich, kombinierte Grundwasser-/Bodenluft-/Gasmessstellen zu errichten, (s. Abbildung 3). Der Abschluss des Messstellenrohres ist gasdicht herzustellen. Die Entnahme von Gasproben kann z.B. über einen Kugelhahn mit Schlauchanschluss erfolgen.

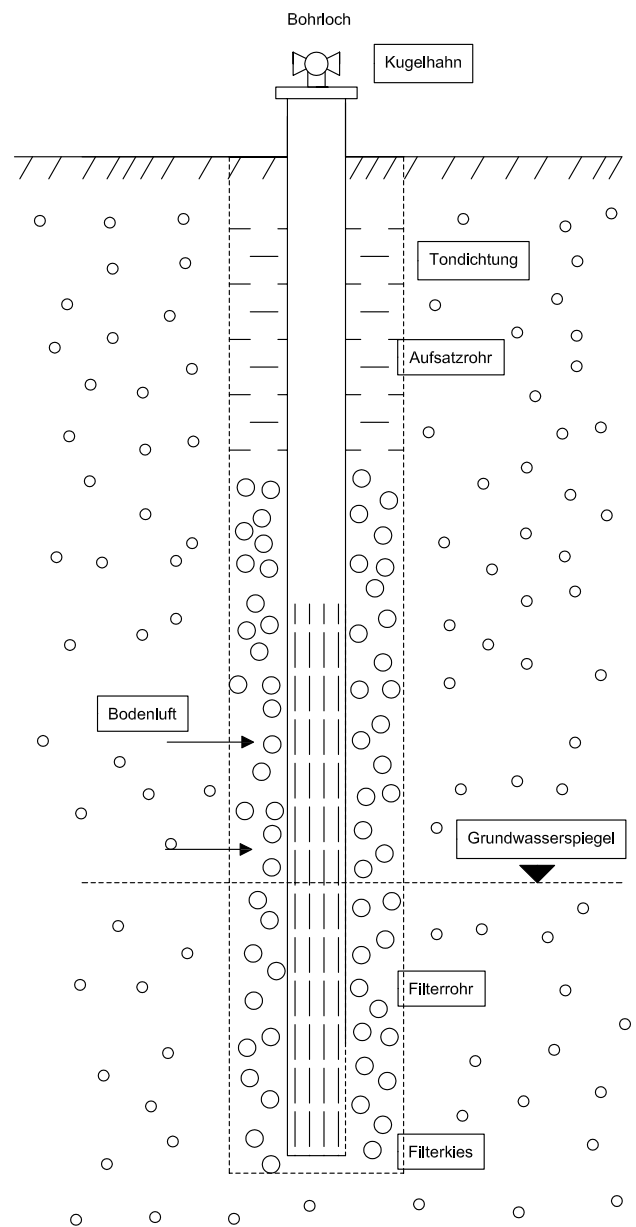


Abbildung 3: Prinzipskizze einer stationären kombinierten Grundwasser- und Bodenluft-/Deponiegasmessstelle

3.5 Vergleich der Probenahmestellen

Jedes der aufgeführten Probenahmeverfahren bietet je nach Fragestellung Vor- und Nachteile, so dass für die jeweiligen Anforderungen das geeignetste Verfahren auszuwählen ist.

Verdrängersonde	Bohrlochverfahren*	Stationäre Gasmessstelle**
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> » Preiswert und schnell » Halbquantitative Messungen vor Ort möglich » Abdichtung zur Atmosphärenluft sehr gut » Messung von Permanentgasen möglich » Besonders für erste orientierende Untersuchungen geeignet 	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> » Schichtenaufbau wird erkundet » Halbquantitative Messungen vor Ort möglich » Feststoffprobenahme möglich » Exakte Messungen von CO₂, CH₄, O₂, H₂S und Spurenstoffen vor Ort möglich » Gute Reproduzierbarkeit » Variable Probenahmetiefen möglich » Ausbau zur stationären Gasmessstelle möglich 	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> » Exakte Mehrfachmessungen unter gleichen Bedingungen möglich » Halbquantitative Messungen vor Ort möglich » Abdichtung zur Atmosphärenluft sehr gut » Verfälschung der Messergebnisse durch Bohrvorgang gering » Eignung zur Testabsaugung vielfach gegeben » Schichtenaufbau erkundbar » Feststoffproben entnehmbar
Nachteile: <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 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> » Höherer Zeitaufwand und höhere Kosten als bei der Verdrängersonde » Abdichtung des Bohrloches muss bei der Gasentnahme überwacht werden 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> » Höherer Zeitaufwand und höhere Kosten als bei temporären Messungen » Entnahmetiefe ist durch Lage der Filterstrecke festgelegt » Sicherung der Messstelle ist erforderlich » Freie Zuwegung ist sicher zu stellen

* für Deponiegasuntersuchungen nur zur Orientierung geeignet

** anerkanntes Verfahren für Deponiegasuntersuchungen

4. Probenahme, Messverfahren und Analytik

4.1 Allgemeines

Generell ist jedes Probenahmeverfahren sowie die nachgeschaltete Analytik frei kombinierbar. Es sind lediglich entsprechende Übergänge vom Bohrloch bzw. von der Gasmessstelle zur eigentlichen Probenahmeeinrichtung herzustellen. Dabei folgen die verschiedenen Verfahren zur Entnahme von Bodenluft-/Deponiegasproben den gleichen Prinzipien. Aus einem Bohrloch bzw. einer Gasmessstelle wird entweder ein definiertes Volumen, das von der Geometrie der Entnahmestelle abhängig ist, oder bis zur Konstanz von Permanentgasen wie CO₂ und O₂ sowie ggf. CH₄ und H₂S (z. B. unter Einsatz kalibrierbarer mobiler Multigasmessgeräte) abgesaugt. Die Probenahme erfolgt anschließend durch eine Vakuumpumpe mit Durchflussmessgerät oder eine Hand-Balgenpumpe mit vorgegebener Hubzahl. Der Einsatz mobiler Multigas-messgeräte (mMGM) stellt bei Deponiegasuntersuchungen den Stand der Technik dar (s. VDI-Richtlinie 3860, Blatt 1 – 4).

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.

Beim Einsatz des Bohrlochverfahrens erfolgt die Entnahme von Bodenluft durch den Einbau eines mit einem Packer ausgerüsteten Entnahmegestänges in das offene Bohrloch. 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, so dass ein Eindringen von Atmosphärenluft in das Bohrloch weitgehend unterbunden wird. 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.

Stationäre Gasmessstellen sollten in der Regel mit einem gasdichten Kugelhahn verschlossen werden, so dass eine Probenahme direkt am Kugelhahn erfolgen kann. Ansonsten ist das Messstellenrohr vor der Probenahme mit einem Stopfen bzw. Packer abzudichten. Über ein Gestänge o. ä. ist dann die Bodenluft aus der Messstelle abzusaugen.

4.3 Vor-Ort-Messungen (Direktverfahren)

Vor-Ort-Messungen mit mobilen Multigasmessgeräten dienen im Rahmen von Bodenluftuntersuchungen neben der Bestimmung der Gaszusammensetzung u. a. dem Nachweis der vollständigen Abdichtung des Bohrloches gegen Atmosphärenluft.

Um während der Bodenluftprobenahme bereits einen orientierenden Eindruck über das vermutete Schadstoffinventar zu erhalten, werden halbquantitative, direktanzeigende Prüfröhrchen eingesetzt. Verlässliche Ergebnisse können hiermit jedoch erst bei höheren Schadstoffkonzentrationen erzielt werden. Bei komplexen Stoffgemischen oder auch chemisch sehr ähnlichen Komponenten ist auf Querempfindlichkeiten zu achten. Prüfröhrchen können bei allen beschriebenen Probenahmeverfahren zum Einsatz kommen. In der Regel wird hierbei eine definierte Menge Bodenluft mit einer Vakuumpumpe mit Durchflussmessgerät oder Hand-Balgenpumpe durch das entsprechende Prüfröhrchen gesaugt. 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 Schadstoffe in der Bodenluft beschränkt.

Eine Auflistung geeigneter Messverfahren kann der VDI-Richtlinie 3860 Blatt 1 entnommen werden.

4.4 Probenahme mit Laboranalytik

Zur Bestimmung von Schadstoffen in der Bodenluft sind sowohl die Entnahme von Direktproben als auch eine Probenahme mit adsorptiver Anreicherung (nicht geeignet für Deponiehaupthauptgaskomponenten) möglich. Die Direktprobenahme erfolgt in Gasbeuteln, Gasmäusen, Head-Spaceoder Septumflaschen. Bei der Befüllung von Gasmäusen ist darauf zu achten, dass deren 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.

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

4.5 Vergleich der Direkt- und Anreicherungsverfahren

Die Vor- und Nachteile der Direkt- und Anreicherungsverfahren sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt. Je nach Anforderung ist das geeignetste Verfahren auszuwählen.

Direktverfahren		Anreicherung	
Headspace-Gläschen	Gasbeutel / Gasmaus	Vor-Ort-Analytik: GC und mMGM	Aktivkohle, XAD-Harz
Vorteile: » Probe ist mit der Stoffzusammensetzung der Bodenluft in situ identisch	Vorteile: » Mehrfachanalysen möglich » Durch größere Probenmenge auch Permanentgase analysierbar » Die Probe ist mit der Stoffzusammensetzung der Bodenluft in situ identisch	Vorteile: » Ergebnis liegt sofort vor » Anzahl der Proben für Laboruntersuchung kann ggf. reduziert werden » Möglichkeit der sofortigen Eingrenzung von Schadensherden » Geringer apparativer Aufwand für mMGM	Vorteile: » Mehrfachanalysen möglich » Niedrige Nachweisgrenzen durch Anreicherung
Nachteile: » Fremdluftzutritt bei undichten Septen möglich » Evtl. zu geringes Probenvolumen und deshalb nicht geeignet für Untersuchung der Deponiegashauptkomponenten	Nachteile: » Eingeschränkte Lagerfähigkeit » Adsorptionseffekte sowie Kondensationseffekte am Probenahmematerial möglich	Nachteile: » Hoher apparativer Aufwand vor Ort (GC) » Eingeschränkte Genauigkeit (Prüfröhrchen)	Nachteile: » Ad- und Desorption einzelner Verbindungen der Probe evtl. nicht vollständig » Verdrängungsreaktionen bei der Adsorption » Nicht geeignet für Untersuchung der Deponiegashauptkomponenten

mMGM: mobiles Multigasmessgerät

4.6 Probentransport und Lagerung

Grundsätzlich sollten Gasproben umgehend verarbeitet werden, um Minderbefunde zu vermeiden. Unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen sind jedoch befristete Lagerungszeiten möglich. Bei Direktproben ist eine Lagerung unter Verwendung geeigneter Septen bei Umgebungstemperatur und Dunkelheit 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 bruchsicher 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, 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.

5. Dokumentation

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

Bei der Durchführung des Bohrlochverfahrens sowie der Errichtung von stationären Gasmessstellen ist ein Schichtenverzeichnis des Bodenaufbaus gemäß DIN EN ISO 22475-1 in Verbindung mit DIN 4023 für jede Probenahmestelle anzufertigen.

6. Qualitätssicherung

Unabhängig von der gewählten Probenahmevariante sind für eine qualifizierte Bodenluftprobenahme oder Deponiegasprobenahme folgende qualitätssichernde Maßnahmen unerlässlich.

Bodenluft:

- » 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.
- » Die Kohlenstoffdioxidkonzentration der Bodenluft ist auf Grund mikrobiologischer Abbauvorgänge höher als in der Außenluft. Durch die kontinuierliche Messung des Kohlenstoffdioxidgehaltes 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..

Bodenluft / Deponiegas:

- » Es ist sicher zu stellen, dass keine atmosphärische Luft die Bodenluftprobe beeinflusst. Zur Identifikation von atmosphärischen Außenluftanteilen bei Entnahme von größeren Bodenluftvolumina ist die Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffkonzentration in der Bodenluft zu bestimmen.
- » 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 bei gleichbleibendem Unterdruck möglichst klein und konstant zu halten.
- » Die Vergleichbarkeit von Analyseergebnissen bei Bodenluftuntersuchungen an aufeinanderfolgenden Tagen ist zu gewährleisten.
- » 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 Reaktorsicherheit (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 102 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist

DIN EN ISO 22475-1 (2007): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung

DIN 4023 (2006): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen

DIN 4924 (2014): Sande und Kiese für den Brunnenbau – Anforderungen und Prüfverfahren

DIN 4925 (2014): Filter- und Vollwandrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) für Brunnen – Teil 1: DN 35 bis DN 100 mit Rohrgewinde

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1993): Verfahrensempfehlung für die Probenahme bei Altlasten (Boden, Abfall, Grund-, Sickerwasser, Bodenluft). Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle Baden-Württemberg

Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) – Altlastenausschuss (ALA) Unterausschuss „Arbeitshilfe für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung“ (2002): Kapitel 2: Gewinnung von Boden-, Bodenluft- und Grundwasserproben. https://www.labo-deutschland.de/documents/labo-arbeitshilfe-qualitaetssicherung-12-12-2002_d4c.pdf

VDI 3860 Blatt 1 (2006): Messen von Deponiegas – Grundlagen

VDI 3860 Blatt 1 (2008): Messen von Deponiegasen – Messungen im Gaserfassungssystem

VDI 3860 Blatt 1 (2011): Messen von Deponiegasen – Messungen von Oberflächenemissionen mit dem Flammenionisationsdetektor (FID)

VDI 3860 Blatt 1 (2012): Messen von Deponiegasen – Messungen im Untergrund

VDI 3865 Blatt 1 (2005): Messen organischer Bodenverunreinigungen – Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen

VDI 3865 Blatt 2 (1998): Messen organischer Bodenverunreinigungen – Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben (überprüft und bestätigt: 2014)

VDI 3865 Blatt 3 (1998): Messen organischer Bodenverunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft nach Anreicherung an Aktivkohle oder XAD-4 und Desorption mit organischem Lösungsmittel (überprüft und bestätigt: 2014)

VDI 3865 Blatt 4 (2000): Messen organischer Bodenverunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft durch Direktmessung

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 grauviolett
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 %/a	Mercaptan	0,5 – 5 ppm	gelb
Methylenchlorid 20/a	Dichlormethan		lila
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	leicht oxidierbare Substanzen	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 0,5/b	Vinylchlorid	0,5 – 5 ppm	lila
Xylol 10/a	o-Xylol	10 – 400 ppm	rotbraun

