

## Passive Bodenluftbeprobung mit dem Gassammelsystem GASSYS

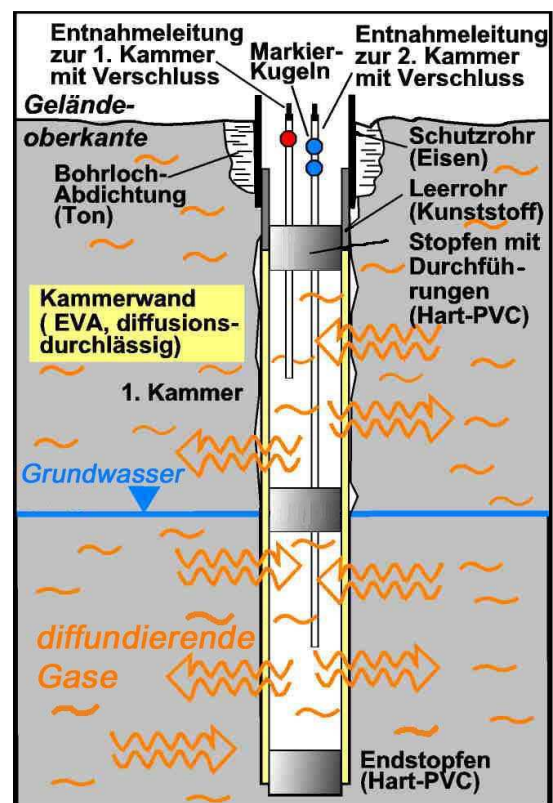
Patent Nr. 19610402 (Deutsches Patent- und Markenamt, München 17.03.2005)

Für die Messung der Gase von Schadstoffen, die aus Leckagen oder aus Altlasten in den Boden und in das Grundwasser gelangt sind, stellt das von KaiserGEOconsult GmbH entwickelte passive Gassammelsystem GASSYS eine wirtschaftliche Technik mit besonderen Möglichkeiten dar. Es basiert auf seit über zwanzig Jahren im Boden bewährten Membranschläuchen aus Kunststoffen (Rohrleitungsüberwachung mit Siemens-LEOS). In Kammern aus diesen Membranschläuchen werden **die freien Gase der gesättigten wie ungesättigten Bodenzone tiefenbezogen und ungestört** erfasst, über oberirdisch mündende Entnahmeleitungen aus Edelstahl beprobt und direkt der gaschromatographischen Analyse im Feld oder Labor zugänglich gemacht. In einfacher Weise werden die physikalischen Gesetze des Konzentrationsausgleiches bei der Gasdiffusion in Verbindung mit flüssigkeitsdichten Kunststoffmembranen angewendet. Die Membranen lassen in beide Richtungen Gase diffundieren, bis sich ein dynamisches Gleichgewicht als Konzentrationsausgleich zwischen den Gasen im Boden und denen in den Membranschlauchkammern einstellt. Der Ausgleichvorgang ist durch Messungen der entsprechenden Druckveränderungen in den Kammern überprüfbar. Das Aufhören der Druckveränderungen signalisiert das Erreichen des Konzentrationsausgleiches und damit des Zeitpunktes, ab dem in den Kammern die Bodengase quantitativ der Beprobung zur Verfügung stehen. Dies geschieht gewöhnlich innerhalb von sieben bis vierzehn Tagen.

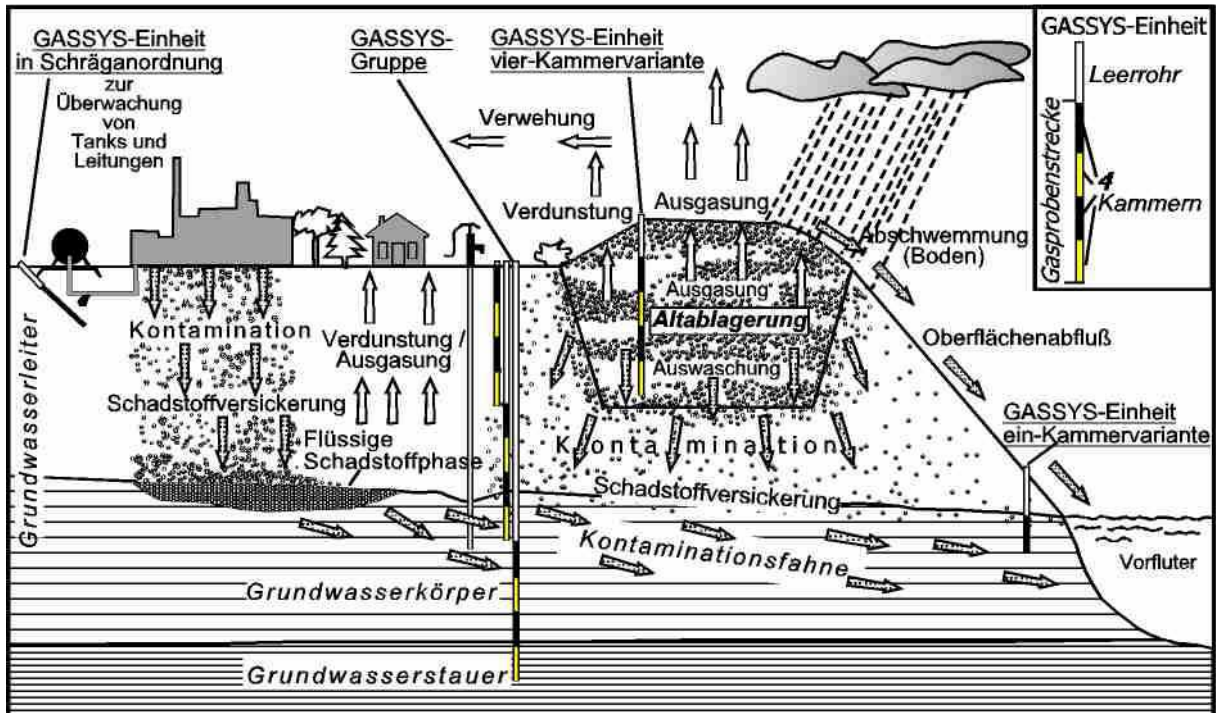
Mit GASSYS steht ein definiert arbeitendes Beprobungssystem zur Verfügung. Es ermöglicht eine über Jahre an gleicher Stelle und mit identischer Vorgehensweise wiederholbare Bodenluftbeprobung. Jederzeit lassen sich das System und die Durchführung der Beprobung mit der Messung jener Druckminderung kontrollieren, die in einer Membrankammer durch die Bodenluftentnahme hervorgerufen wird. GASSYS eignet sich sowohl für Erkundungs- als auch für Überwachungsaufgaben bei Deponien, Industrieanlagen, Tankstellen sowie bei natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen von Schadstoffen (Natural Attenuation). Eingesetzt werden GASSYS-Einheiten, die aus einer bis vier Membranschlauchkammern gewünschter Längen bestehen, sowie Kombinationen von GASSYS-Einheiten zu GASSYS-Gruppen. Der Durchmesser von GASSYS überschreitet an keiner Stelle 19 mm. Zum Einbau genügen Bohrlöcher mit Durchmessern von 20 bis 35 mm. Diese lassen sich meist bis in Tiefen von etwa 10 und 15 Metern mit den gängigen Kleinbohrgeräten herstellen. Stellvertretend oder zusätzlich steht hierfür eine Hilfsverrohrung mit „verlorener Spitze“ und dem Durchmesser von 35 mm zur Verfügung. Die Hilfsverrohrung ist erforderlich, wenn nach dem Ziehen des Kleinbohrgerätes das Bohrloch für das Einbringen von GASSYS nicht ausreichend offen bleibt. Die kleinen Bohrlöcher stellen einen minimalen Eingriff in den Boden dar, der mit wenig Kostenaufwand verbunden ist. In den Fällen, in denen GASSYS bis in die Tiefen von 35 m und mehr installiert wurde, hat sich das Hohlbohrschneckenverfahren bewährt. GASSYS eignet sich nicht nur als ein stationäres sondern auch als ein temporäres Beprobungssystem, das bis in Tiefen von ca. 5 m mehrmals an verschiedenen Stellen verwendet werden kann.

Für die Beprobungen werden Glasspritzen (mit PTFE-Kolben) und Headspace-Gläschen (10 bzw. 20 ml) eingesetzt, die von Aluminiumkappen mit PTFE-kaschierten Butylkautschuk-Septen verschlossen sind.

GASSYS und die zum Einbau im Boden empfohlene Ausrüstung (Hilfsverrohrung mit „verlorener Spitze“) sind von KaiserGEOconsult GmbH oder von Röhrenwerk Kupferdreh Carl Hamm GmbH, Essen, zu beziehen.



Aufbau- und Funktionsschema von GASSYS



Einsatzbeispiele von GASSYS (eingezeichnet in einem Schema, das sich an der Abbildung 1 des Bayerischen Altlastenleitfadens von 1991 orientiert).

Beprobung mit einer Glasspritze, die über einen Silikon-Schlauch mit der Edelstahl-Entnahmeleitung verbunden ist.



Überflurmessstelle

Kammerwand-Aufbau (Foto eines Anschnittes)



Unterflurmessstelle



<i>Aceton</i>	<i>Dichlorethen</i>	<i>Freon 12</i>	<i>Propan</i>
<i>Acrylnitril</i>	<i>Dichlormethan</i>	<i>Freon-21</i>	<i>iso-Propanol</i>
<i>Ammoniak</i>	<i>Dieselmotortreibstoff</i>	<i>Freon-113</i>	<i>Rohöl</i>
<i>Benzol</i>	<i>Diethylether</i>	<i>Freon-502</i>	<i>Schwefelwasserstoff</i>
<i>Benzylalkohol</i>	<i>Dimethylamin</i>	<i>Halon-1211</i>	<i>Stickstoffdioxid</i>
<i>iso-Butan</i>	<i>Dioxan</i>	<i>Halon-1301</i>	<i>Styrol</i>
<i>n-Butan</i>	<i>Essigsäurebutylester</i>	<i>Heizöl</i>	<i>Tetrachlorethen</i>
<i>Butanol</i>	<i>Essigsäureethylester</i>	<i>n-Hexan</i>	<i>Tetrahydrofuran</i>
<i>Butanon</i>	<i>Essigsäuremethylester</i>	<i>Kohlendioxid</i>	<i>Toluol</i>
<i>Chlor</i>	<i>Essigsäurepentylester</i>	<i>Kohlenmonoxid</i>	<i>Trichlorethen</i>
<i>Chlormethan</i>	<i>Ethan</i>	<i>Methan</i>	<i>Trichlorethen</i>
<i>Chloropicrin</i>	<i>Ethanol</i>	<i>Methanol</i>	<i>Trichlormethan</i>
<i>Cyclohexan</i>	<i>Ethen</i>	<i>Methylethylketon</i>	<i>Vinylchlorid</i>
<i>Cyclohexanon</i>	<i>Ethylenoxid</i>	<i>Methylmercaptan</i>	<i>Vergaserkraftstoff</i>
<i>Dibutylether</i>	<i>Formaldehyd</i>	<i>n-Pentan</i>	<i>Wasserstoff</i>
<i>Dichlorethan</i>	<i>Freon-11</i>	<i>Pentanol</i>	<i>Xylol</i>

Liste mit Stoffen aus der „allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung“ des deutschen Institutes für Bautechnik (DIBT), Berlin, Dez. 1999. Sie wurde für das Siemens-LEOS-System erstellt, dessen Membranschlauch aus Kunststoff auch für GASSYS eingesetzt wird. Sie beruht auf Untersuchungen und Gutachten seitens RWTÜV und TÜV-Bayern (1989). Die Liste enthält nicht alle Stoffe, die über ihre Gasanteile mit dem Membranschlauch erfasst werden.

### Aspekte bei der passiven Bodenluftbeprobung mit GASSYS

- Diffusionsvorgänge bewirken stets den Ausgleich örtlicher Konzentrationsunterschiede der einzelnen mobilen Gase im Boden. Dabei werden die im Boden befindlichen GASSYS-Membranschlauchkammern vollständig mit einbezogen. Die Diffusionsvorgänge erzwingen in diesen relativ **engen Kammern** von 9,6 mm Durchmesser jene Gasverhältnisse, die von dem **Umfeld** angeboten werden. Konzentrationsgradienten durch Entmischen von Gasen können sich in der Kammer nicht stabilisieren. Wenn sich zum Beispiel ein Gas infolge seines spezifischen Gewichtes im unteren Bereich der Kammer anreichern würde, so würde es dort sofort aus der Kammer in den umgebenden Boden diffundieren, solange dieser eine geringere Stoffkonzentration aufweist. Umgekehrt wird eine „Konzentrations-Abmagerung“ im oberen Bereich der Messkammer durch Stoffnachlieferung aus dem umgebenden Boden ausgeglichen.
- Was für das Innere der Kammern gilt, gilt auch für den engen **Luftspalt**, der zwischen Membranaußenwand und der Bohrlochwandung als Folge des für GASSYS vorgesehenen Bohr- und Einbauvorganges entsteht. Der Luftspalt beträgt unmittelbar nach Einbau des Membranschlauches maximal 10 mm (z. B. 35 mm-Bohrlochdurchmesser abzüglich dem 15 mm-Membranschlauchdurchmesser = 20 mm geteilt durch 2). Er wird durch die Bohrlochabdichtung (z. B. mit Ton) im obersten Meter gegenüber der Atmosphäre abgeschottet, so dass er ohne Kaminwirkung ist und eine ruhende, mit dem umgebenden Boden in Wechselbeziehung stehende Luftsäule darstellt. Der ursprüngliche Luftspalt besteht nur zeitweilig, da der Boden früher oder später seine Standfestigkeit verliert und an den Schlauch herantritt. Auch wenn zum Zeitpunkt der Beprobung noch ein Luftspalt vorhanden ist, löst diese in ihm keine Strömung der Bodenluft aus. Entnommen wird die Gasprobe allein aus der Membranschlauchkammer ohne Erzeugen eines Unterdrucks im Luftspalt und Boden, da die Wand des Membranschlauches dicht ist gegenüber anströmenden Gasen und diese nur in einem mehrere Stunden beanspruchenden Diffusionsvorgang durchlässt.
- Die verwendeten **Membranschlauch-Materialien** (z. B. PVC-Stützrohr, EVA-Membrane und PE-Schutzgeflecht) unterliegen den gleichen physikalischen Gesetzen der Gasdiffusion, wie der Boden und der Luftspalt. Das heißt: Nachdem die Membranschlauch-Materialien die an sie herantretenden Gase bis zum Sättigungsgrad aufgenommen haben (das geschieht innerhalb von Stunden), geben sie diese in die Membranschlauchkammer weiter, bis die Gaskonzentrationen der Membranschlauchkammer und des umgebenden Bodens gleich sind.
- Diffusionsvorgänge und Gasströmungen bestimmen die Gasverhältnisse im Boden. Diese werden durch die Beprobung von GASSYS nicht gestört. Beprobung werden nur die Membranschlauchkammern von GASSYS und diese bilden mit ihren oben verschlossenen Entnahmeleitungen ein **geschlossenes System** (strömungsdichtes aber nicht diffusionsdichtes System) gegenüber dem Bodenbereich. Hierin liegt ein entscheidender **Unterschied zur aktiven Bodenluftbeprobung**, durch welche einem nicht genau eingrenzbaeren Bodenbereich Luft entzogen und die dort bestehenden Verhältnisse gestört werden. In der aktiv entnommenen Bodenluftprobe spiegeln sich die entsprechend veränderten Gaskonzentrationen wider, während die GASSYS-Probe die realen, ungestörten Gaskonzentrationen der mobilen Bodenluft aufweist.

- Wasser behindert in keiner Weise die Funktionstüchtigkeit des passiven Gassammelsystems, da dessen Membranschlauchkammern dicht gegenüber Wasser in seiner flüssigen Phase sind. Sie lassen nur Wasserdampf eindiffundieren. Auch im **Grundwasser** befindliche Gase diffundieren in die Membranschlauchkammern. Dabei bestimmt das HENRY-Gesetz, welcher Anteil eines Gases diffundieren kann und welcher Anteil im Wasser gelöst bleibt. Entsprechend erfasst man bei der Beprobung von Membranschlauchkammern im Grundwasser ein Gas nicht ganzheitlich sondern mit Relativwerten. Die Relativwerte erlauben Zeitreihenuntersuchungen, lassen sich aber durch die Validierung des Systems für einen bestimmten Standort in Absolutwerte überführen.

### Die Beprobung von GASSYS

Jede GASSYS-Membrankammer ist mit einer separaten Bodenluft-Entnahmeleitung aus Edelstahl versehen, die oberirdisch endet und dort verschlossen ist. An sie wird zur Bodenluftbeprobung die Kanüle einer Glasspritze mit Teflon-Kolben angeschlossen. Nach dem Absaugen der Totvolumenluft aus der Entnahmeleitung und deren Verwerfen wird die eigentliche Bodenluftprobe gezogen. Es handelt sich eine „Kleinmengenentnahme“, die 10 oder 20 ml beträgt. Blatt 2 der VDI-Richtlinie 3865 vom Januar 1998 beschäftigt sich unter anderem mit einer Variante der aktiven Bodenluftbeprobung „Kleinmengenentnahme am Bohrlochtiefsten, punktuell / horizontal“ (Variante 4, Abschnitt 4.4.4) und regelt dabei den Umgang mit kleinen und direkt (ohne den Weg über Aktivkohle) gewonnenen Bodenluftmengen. Diese Umgangsregelung gilt - ohne neu definiert werden zu müssen - auch für die mit GASSYS gewonnenen Gasproben. Allerdings wurde bei GASSYS ein anderes, ebenfalls in der Branche praktiziertes Verfahren zur Befüllung eines verschlossenen Headspace-Gläschens mit der Gasprobe angewendet. Statt gemäß VDI die atmosphärische Luft aus dem z. B. 20 ml-Gläschen durch Eingabe der Gasprobe über eine Entlüftungskanüle zu verdrängen und damit zu entfernen, wird diese herausgesaugt. Das kann kurz vor der Beprobung von GASSYS im Gelände mit Hilfe einer Handvakuumpumpe bis auf den Restdruck von ca. 100 hPa bzw. bis auf die entsprechende Restluftmenge geschehen. Falls O<sub>2</sub> oder CO<sub>2</sub> oder N<sub>2</sub> bestimmt werden sollen, stört diese Restluft. In derartigen Fällen wird das 20 ml-Gläschen zur Luftentfernung mit inertem Gas (z. B. Argon) geflutet und dann erst verschlossen. Nach dem anschließenden Evakuieren des Gläschens bildet das inerte Gas den Restinhalt. In das evakuierte 10/20 ml-Gläschen wird stets eine 10/20 ml GASSYS-Bodenluftprobe injiziert, damit es zu keiner Konzentrationsänderung der Gase in der Bodenluftprobe aufgrund einer Volumenänderung kommt. Nach der Probengasinjektion herrschen im Gläschen Druckverhältnisse, wie sie innerhalb des atmosphärischen Druckschwankungsbereiches vorkommen.

### **Schriften**

- Faber, E., Hollerbach, A., Hübner, M., Kaiser, H., Poggenburg, J., Stahl, W. und Tobschall, H. J.: "Permeable Membranen - Ein Werkzeug zur vereinfachten Probenahme von Kohlenwasserstoff-Gasen?", Deutsche wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK):DGMK-Tagungsbericht, Frühjahrstagung 1998, Seite 401 - 410.
- Institut für Umweltgeologie und Altlasten der Landesgewerbeanstalt (LGA), Nürnberg, und KaiserGEOconsult GmbH, Erlangen: "Erprobung eines segmentierten Gassammelsystems für horizontbezogene Gasbeprobung in Wasser und Böden von bereits untersuchten Arealen". Bericht an das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen zum F & E -Projekt E 44, Januar 1999.
- Kaiser, H., Schillinger, C.: "Passives Gassammelsystem für horizontbezogene Gasprobennahme in Böden und Grundwasser", Terra-Tech 6 / 1999, S. 19 - 21, Mainz.
- Kaiser, H., Schillinger, C.: "Gasmessungen in Boden und Grundwasser", wwt/awt 2 / 2001, S. 50-53, Berlin.
- Kaiser, H., Schillinger, C.: "Neue Entnahmetechnik für Bodengase - passive tiefenbezogene Beprobung gasförmiger (Schad-) Stoffe in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone mit GASSYS", LGA-Rundschau 2 / 2001, S. 1-5, Nürnberg.
- Novacic, N., Crncevic, D., Juranic, T.: " Hydrocarbon leak detection and continuous monitoring - pilot project at ETHANE PLANT IVANICGRAD", International Oil and Gas Conference Zadar, Croatia, 2001, Oktober 2.-5.
- Uhlig, U., H. Kaiser: „Der Einsatz von GASSYS (Gassammelsystem) zur Bodenluft- und Grundwasserüberwachung am Beispiel eines Feldversuches am Standort Schwarze Pumpe“, altlasten spektrum 3 / 2005, S. 131-134, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Weyer, K. U., Hamann, C. und Kaiser, H.: "GASSYS: A unique in-situ and passive gas sampling system from unsaturated soil and from groundwater", International Oil and Gas Conference Zadar, Croatia, 2001, Oktober 2.-5.