

# Erkundung von Boden- und Grundwasserverschmutzungen mittels der PETREX Bodengas-Technik : Methodik und Fallbeispiele

Autor(en): **Kupferschmid, Christian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **59 (1992)**

Heft 135

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-216070>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Erkundung von Boden- und Grundwasserverschmutzungen mittels der PETREX Bodengas-Technik Methodik und Fallbeispiele

Mit 1 Tabelle und 2 Figuren  
von CHRISTIAN KUPFERSCHMID\*

## *Zusammenfassung*

Die PETREX Bodengas-Technik, welche seit 10 Jahren im Umweltsektor angewendet wird, stellt die ideale primäre Erkundungsmethode für Boden- und Grundwasserverschmutzungen dar, weil sie rasch, einfach anzuwenden und flächendeckend ist. Die Methode ist auch viel sensitiver und kostengünstiger als andere Verfahren (z.B. aktive Bodengasmethoden).

Passivsammler in Kombination mit hochauflösender Massenspektrometrie erlauben den direkten Nachweis und die zuverlässige Identifikation von über 9'000 flüchtigen (inklusive vielen schwerflüchtigen) organischen Verbindungen.

PETREX ermöglicht eine umfassende Problemdefinition in der Anfangsphase eines Projektes, was eine Optimierung der Erkundungs- oder Sanierungskosten erlaubt, indem kostspielige Bohrungen und andere, zur vollständigen Problemlösung geeignete Methoden sehr gezielt eingesetzt werden können.

PETREX findet deshalb breite Anwendung bei Schadstoffhebungen, bei der Ermittlung von Schadverursachern, bei Sanierungsplanungen und -kontrollen, sowie bei Audits im Zusammenhang mit dem Liegenschaftshandel.

## *Abstract*

The PETREX Passive Soil Gas Technique — applied successfully to environmental projects for 10 years — is the ideal primary investigative tool for soil and groundwater contaminations, since it is rapid, easy to apply and covering large areas. It is more sensitive and cost effective than other methods (e.g. active soil gas techniques).

Passive collectors combined with high-resolution mass spectrometry permit the direct and reliable identification of over 9,000 volatile (VOCs) and semi-volatile organic compounds (SVOCs).

PETREX is capable to provide comprehensive problem delineation during the initial stages of the site investigation, allowing for greater cost effectiveness in the planning of remediation programs and in the selection of appropriate well sites and other methodologies which may be needed to complete the environmental evaluation.

PETREX therefore finds wide use in the investigation of contaminants, in the determination of pollution sources, in remediation planning and control, as well as in audits connected to real estate transactions.

## **Einleitung**

Fortschritte in der Behandlung von Adsorptionsmaterialien, im Kollektordesign, in der automatisierten massenspektrometrischen Auswertung und in der Anwendung statistischer Methoden führten zur Entwicklung einer schnellen und hochauflösenden Bodengas-Untersuchungsmethode, welche heute als PETREX Bodengas-Technik («PETREX Passive Soil Gas Technique») weltweit im Markt eingeführt ist.

---

\* Dr. CHRISTIAN KUPFERSCHMID,  
Geologe CSD Management SA, Route de Chantemerle 37, 1763 Granges-Paccot

Die Methode, ursprünglich 1982 durch die Colorado School of Mines für die Erdölindustrie entwickelt, hat sich seither bei mehr als 700 Erdölexplorations- und 800 Umweltprojekten bewährt.

## Grundlagen

### *Probenahme*

Bei Bodengasuntersuchungen wird zwischen aktiven und passiven Methoden unterschieden.

Bei **a k t i v e n M e t h o d e n** wird normalerweise eine Sonde in den Boden gerammt und mit einer Pumpe Bodenluft entnommen, die dann im Labor oder im Feld mittels Gaschromatographie (GC, mit verschiedenen stoffgruppenspezifischen Säulen) analysiert wird. Aktive Methoden, gekoppelt mit mobiler Analytik, haben einen gewissen Vorteil bei unverzügliche Massnahmen erfordernden Notfällen, indem Resultate sehr schnell vorliegen.

Lokale Konzentrationen flüchtiger Verbindungen zeigen starke Variationen in Funktion von Bodenfeuchtigkeit, luftgefüllter Porosität, Abstand zum Grundwasser sowie substanzspezifischer Eigenschaften wie Flüchtigkeit und Wasserlöslichkeit. Aktive Methoden haben den nicht korrigierbaren Nachteil, dass durch das Pumpen das vorher vorhandene Gleichgewicht empfindlich gestört wird, sodass im Resultat Konzentrationen von leichtflüchtigen Substanzen generell überbetont werden. Schwerflüchtige Substanzen, welche der geringen Probenahmezeit wegen nicht zeitig genug zur Sonde migrieren können, sind mit aktiven Methoden nicht nachweisbar.

**P a s s i v e M e t h o d e n** hingegen erlauben die Beprobung des ungestörten Untergrundes. Sie benutzen üblicherweise Aktivkohle als Adsorptionsmaterial. Damit werden volatile Schadstoffe im Boden und Grundwasser eingefangen und über eine längere Zeit akkumuliert.

Konzentrations-Fluktuationen, die auch von umweltbedingten Faktoren wie z.B. Feuchtigkeit, Luftdruck und Temperatur, sowie von der gegenseitigen Wechselwirkung der Schadstoffe abhängen, werden zeitlich integriert, d.h. es ergeben sich Durchschnittswerte unter Gleichgewichtsbedingungen. Zudem sind auch schwererflüchtige Stoffe erfassbar (siehe Tabelle 1).

Der PETREX-Passivkollektor, dargestellt in Figur 1, besteht aus Borosilikat-Glas. Die darin eingesetzten Rezeptoren (jeweils zwei oder drei) sind ferromagnetische Drähte (mit einem Curie-Punkt von 358° C), an deren Spitze (1 cm) eine speziell behandelte und gesiebte Aktivkohle angebracht ist. Diese Rezeptoren werden vorgängig durch Induktion im Hochvakuum auf die Curie-Temperatur erhitzt und gereinigt und anschliessend in einer inerten Atmosphäre in den Kollektor eingesetzt.

Die Kollektoren werden im Feld durch Entfernung von Deckel und Dichtung aktiviert. Dann werden sie mit der Öffnung nach unten untief (Standard ca. 45 cm) im Boden vergraben; die Messstellen werden provisorisch verfüllt und markiert. Die Anordnung der Kollektoren erfolgt normalerweise in einem zweidimensionalen Messpunkteraster, in Abständen von ca. 15 bis 40 Metern. Nach einer Expositionszeit von ein bis zehn Tagen, die je nach Problemstellung, Bodenaufbau und Grad der erwarteten Verschmutzung variiert, werden die Kollektoren eingesammelt und zur Analyse ans Labor verschickt.



**Figur 1:** Erkundung einer Altlast mittels der PETREX Bodengas-Technik. Passivkollektoren mit Aktivkohle-Rezeptoren (rechtes Bild) werden in untiefe Bohrlöcher versetzt (linkes Bild).

### *Analytik*

Im Labor werden die Proben mit Hilfe von Curie-Punkt-Desorption-Massenspektrometrie analysiert. Einer der im Kollektor enthaltenen Rezeptoren wird dabei direkt in die Ionenquelle eines Quadrupol-Massenspektrometers eingeführt. Dort werden die in der Aktivkohle adsorbierten Substanzen thermisch (durch induktive Aufheizung auf 358° C) desorbiert, ionisiert, nach Ionenmasse getrennt, und die Ionen anschliessend gezählt.

Die standardmässige Analyse, die je nach Problemstellung modifiziert werden kann, erfolgt im Bereich 30-240 Atommasseneinheiten, was erlaubt, die meisten umweltrelevanten flüchtigen Stoffe zu erfassen. Sie dauert im Durchschnitt circa 2 Minuten, sodass die Resultate eines Normalprojektes im allgemeinen innerhalb von 48 Stunden verfügbar sind. Durch kontinuierlichen Vergleich mit dem internen Standard Perfluortributylamin (PFTBA) wird eine korrekte Massenkalisierung und Peak-Auflösung gewährleistet. Andere Standard Operation Procedures (SOPs), die sich auf die Fabrikation der Kollektoren und Rezeptoren, den Transport der Kollektoren, die Analytik, sowie die digitale Aufzeichnung und Verarbeitung der Messdaten beziehen, garantieren eine hohe Qualität der Resultate.

Sollte wegen Überlagerung der Massen-Peaks zusätzliche Auflösung für eine eindeutige Bestimmung der Zusammensetzung komplexer Stoffmischungen nötig sein, wird der zweite Rezeptor oder eine im Kollektor gesammelte Wasser- bzw. Bodenprobe im PETREX-Labor mit andern Methoden (z.B. TD/GC/MS, TD/GC/MS/MS, head-space) untersucht.

Flüssig-Desorption der Aktivkohle kann die Proben auch für zusätzliche Untersuchungen zugänglich machen.

### *Identifizierung der Substanzen und Auswertung*

Die Identifizierung der Substanzen erfolgt durch Vergleich der Massenspektren der untersuchten Proben mit einer digital gespeicherten Bibliothek von über 95'000 Massenspektren von reinen Stoffen und Stoffmischungen (U.S. National Bureau of Standards, ergänzt durch andere Bibliotheken und eigene Daten).

Die digital gespeicherten Daten werden auf einer Apollo-Workstation mit einer Reihe von chemometrischen Methoden modelliert; spezielle Computer-Techniken erlauben «fingerprinting» und Ähnlichkeitsanalysen einer Vielzahl von flüchtigen Stoffen und Stoffmischungen, was detaillierte Aussagen in Bezug auf Migrationswege und sich überlagernde Schadstofffahnen erlaubt. Komplexe, sich überlagernde «fingerprints» können mit Hilfe statistischer Methoden (Pattern Recognition, Faktoranalyse) aufgelöst und die Substanzen zuverlässig separaten Schadstoffquellen zugewiesen werden. Eine Auswahl mit PETREX nachweisbarer Substanzen ist aus Tabelle 1 ersichtlich.

### *Darstellung der Resultate*

Der an den einzelnen Messstellen gemessene Ionenfluss wird in Form von computer-generierten, farbigen Isoplethenkarten (Linien gleicher Ionenzahl) der einzelnen Stoffe bzw. Stoffmischungen grafisch dargestellt. Diese Isoplethen-Karten zeigen Intensität, Form und Ausbreitung der festgestellten Schadstofffahnen im Untergrund.

### *Anwendung*

Wie einleitend erwähnt, wurde die PETREX Bodengas-Technik ursprünglich für die amerikanische Erdölindustrie entwickelt, die nachwievor Auftraggeber für viele PETREX-Erkundungen in den U.S.A., in Kanada, in der Nordsee, in Südamerika und im Fernen Osten ist. Erdölspezifische Anwendungen sind aber nicht Thema des vorliegenden Beitrages und wurden deshalb nicht weiter behandelt.

Im Umweltsektor findet PETREX vor allem breite Anwendung bei Schadstoffhebungen, Schadenfällen und Sanierungen, sowie bei Audits im Zusammenhang mit Liegenschaftskäufen.

Mögliche Projekte sind z.B. Deponien und Altlasten (inklusive Rüstungsaltslasten), Bodenverschmutzungen, Grundwasserverschmutzungen, Tanklager und Tankstellen, Industrieanlagen und -gelände, Flugplätze und militärische Anlagen, Umschlagplätze für Mineralöl und Chemikalien, Öl- und Chemieunfälle, Grundstücke und Liegenschaften.

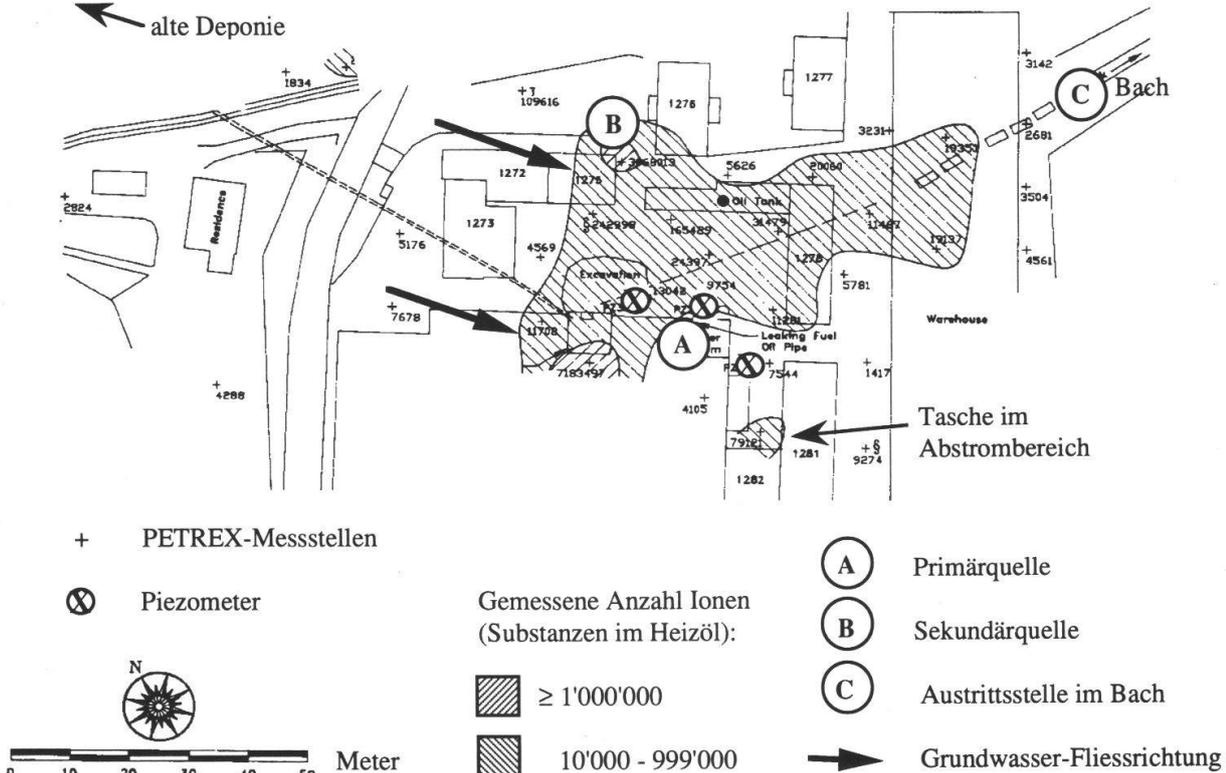
## **Fallbeispiele**

Im folgenden wird eine Auswahl in der Schweiz kürzlich durchgeführter Projekte, welche die Anwendungsmöglichkeiten und die Vielseitigkeit der PETREX Bodengas-Technik demonstrieren, kurz vorgestellt.

### **A u s g a n g s l a g e**

1991 wurden in einem Bach, der unterirdisch Wasser aus einem Fabrikgelände führt, Ölspuren festgestellt. Erste Erhebungen gaben Hinweis auf ein Leitungsleck in der Nähe der Heizung. Eine alte Deponie im Obstrom des Geländes kam als Quelle theoretisch ebenfalls in Frage.

## Ölunfall



Figur 2: Durch PETREX ermittelte Ölfahne im Untergrund

### Zielsetzung der PETREX-Erkundung

- Kartierung der Ölfahne im Grundwasser (Wasserspiegel auf ca. 2 m)
- Identifikation des Primärverursachers
- Nachweis möglicher Sekundärquellen

### Vorgehen

- Versetzen von 39 PETREX-Kollektoren im Boden (45 cm tief, ca. 15 m Abstand), Exposition während 5 Tagen, anschliessend Massenspektrometrie im PETREX-Labor
- Headspace-Massenspektrometrie an zwei Proben (Heizöl und verschmutztes Grundwasser)

### Resultate

- Die PETREX-Kartierung bestätigte die vermutete Hauptquelle bei der Heizung (A), zeigte die Ausdehnung der Ölfahne im Untergrund des Fabrikgeländes und schloss die alte Deponie als Quelle aus.
- Der Spektrenvergleich der Headspace- und Bodengasproben bestätigte den Zusammenhang der Verschmutzung mit der Heizung (gleicher «fingerprint»).
- Zusätzlich liess sich eine bisher unbekannte Sekundärquelle (B) im nördlichen Teil des Fabrikgeländes nachweisen (schwereres Heizöl, anderes Spektrum); Nachforschungen ergaben, dass dort früher beim Umfüllen öfters Heizöl verschüttet worden war, welches in den Boden versickerte.

### Ähnliches Projekt

- Heizölverschmutzung eines Hafenbeckens. Das vermutete Leck in der Zuleitung zu einem Öltank wurde mit der PETREX-Kartierung bestätigt. Ein Vergleich des Hei-

zöls mit dem Wasser im Hafenbecken (Headspace-Massenspektren) zeigte, dass es sich eindeutig um Öl derselben Zusammensetzung handelte. Es wurden zwei verschiedene Migrationswege nachgewiesen: (1) Öl schwimmt in Phase auf dem Grundwasser und umfließt die ins Grundwasser gebauten Tieffundamente, (2) Öl ist z.T. in Lösung und unterfließt die Tieffundamente.

Zusätzlich wurde am Rand des Untersuchungsgebietes eine vorher nicht vermutete Perchlorethylen-Verschmutzung festgestellt.

### *Altlast*

#### **A u s g a n g s l a g e**

Eine Altlast mit chemischen Abfällen (Lindan [Hexachlorcyclohexan, HCH]) sollte saniert werden. Es waren keine Unterlagen bezüglich der genauen Ablagerungsorte vorhanden, was umfangreiche Voruntersuchungen für die Sanierungsplanung nötig machte. Es wurde angenommen, dass die Lindan-Rückstände in relativ schmalen, langgezogenen Gruben parallel zum Bahngelände abgelagert worden waren, in ca. 5 Meter Tiefe unter dem heutigen Terrain. Das Gelände wird heute durch die Gemeinde als Magazin benutzt und ist örtlich mit Beton, einer verfestigten Kiesschicht oder Gras abgedeckt.

#### **Z i e l s e t z u n g d e r P E T R E X - E r k u n d u n g**

- Nachweis und Identifikation von leicht- bis schwerflüchtigen organischen Stoffen im Zusammenhang mit der Lindanproduktion und -entsorgung
- Kartierung der wichtigsten Substanzen zwecks Lokalisierung der Ablagerungsgruben
- Nachweis und Identifikation allfälliger anderer Substanzen

#### **V o r g e h e n**

- Versetzen von 30 PETREX-Kollektoren im Boden (45 cm tief, ca. 15 m Abstand).
- Exposition während 7 Tagen, anschliessend Massenspektrometrie (MS) im Labor.
- Zusätzlich GC/MS-Analyse an den zweiten Rezeptoren ausgewählter Proben, welche gemäss MS-Resultat des ersten Kollektors komplexe Stoffmischungen enthielten
- In einem Testversuch wurde der Lindan-Standard im Labor bei Zimmertemperatur künstlich abgebaut, um Art, zeitliches Auftreten und relative Verhältnisse der Abbauprodukte beobachten zu können.

#### **R e s u l t a t e**

- Lindan selbst, das relativ gut wasserlöslich ist und schnell abgebaut wird, konnte nicht mehr direkt im Bodengas nachgewiesen werden, ist hingegen im Grundwasser im Abstrom der Altlast in kleinsten Spuren vorhanden. Die Kartierung bestätigte aber das Vorhandensein von gut abgrenzbaren Ablagerungsorten von wahrscheinlichen Lindanrückständen. Der Abbaubersuch am Lindan-Standard zeigte dieselben Produkte wie das Bodengas (Tetrachlorbenzol, Trichlorbenzol, Dichlorbenzol), wobei im Versuch zuerst Tetrachlorbenzol, dann Trichlorbenzol und zuletzt Dichlorbenzol auftraten. Nach 40 Tagen war das relative Verhältnis der drei Substanzen im abgebauten Standard ungefähr das gleiche wie im Bodengas über den Ablagerungsgruben, sodass mit grosser Wahrscheinlichkeit angenommen werden konnte, dass es sich bei diesen Substanzen um Abbauprodukte von Lindan, und nicht um Primärprodukte handelte.
- Es liess sich weiter eine BTXE-Kontamination (s. Tabelle 1) kartieren, wahrscheinlich verursacht durch den Werkverkehr und das Waschen von Fahrzeugen.

- Im Bereich des Magazins war eine deutliche Bodenverschmutzung durch chlorierte Kohlenwasserstoffe (Perchlor- und Trichlorethylen) nachweisbar, wohl entstanden durch Lösungsmittelverluste beim Warten von Fahrzeugmotoren.
- Das Deponiegut-Bohrprogramm konnte anhand der PETREX-Resultate optimiert werden.
- Anomalien am Rand der Altlast gaben den Hinweis, wo weitere Untersuchungsschwerpunkte im benachbarten Gelände angesetzt werden mussten.

### Ähnliches Projekt

- Sanierung eines Fabrikgeländes der Metallbranche. Die PETREX-Resultate (Nachweis von Per- und Trichlorethylen, BTEX [s. Tabelle 1], Cycloalkanen und Alkenen) bestätigten im wesentlichen die Resultate von konventionellen Bodenanalysen, sowohl qualitativ wie trendmässig quantitativ. Zusätzlich wurde eine Kontamination mit künstlichen Terpenen nachgewiesen und kartiert. Spätere Nachforschungen ergaben, dass an diesen Stellen in den 30er Jahren Terpene produziert worden waren.

### Abbruchprojekt

#### Ausgangslage

Ein altes Gebäude auf einem chemischen Fabrikgelände, in welchem früher Farbstoffe produziert wurden, sollte abgebrochen werden. Der Auftraggeber wollte vor dem Abbruch wissen, ob der unterliegende Baugrund kontaminiert war, um frühzeitig die Entsorgung planen zu können.

#### Zielsetzung der PETREX-Erkundung

- Nachweis und Identifikation von leicht- bis schwerflüchtigen organischen Stoffen im Bodengas
- Kartierung der wichtigsten Substanzen zur Identifikation der hauptsächlichen Ablagerungsorte
- Identifikation möglicher Schadstoffquellen und Migrations- bzw. Dispersionswege.

#### Vorgehen

- Versetzen von 32 PETREX-Kollektoren (45-70 cm tief, ca. 7.5 m Abstand) unter das Betonfundament des Abbruchgebäudes und im benachbarten Gelände.
- Exposition während 12 Tagen, anschliessend Massenspektrometrie (MS) im PETREX-Labor.
- Zusätzlich GC/MS-Analyse an den zweiten Rezeptoren von vier ausgewählte Proben, welche gemäss MS-Resultat des ersten Kollektors komplexe Stoffmischungen enthielten

#### Resultate

- Die PETREX-Resultate (Nachweis von Per- und Trichlorethylen, BTEX [s. Tabelle 1], Trimethylbenzol, Chlor- und Dichlorbenzol) bestätigten im wesentlichen die Resultate von vom Auftraggeber gleichzeitig durchgeführten konventionellen Bodenanalysen, sowohl qualitativ wie trendmässig quantitativ. Interessant war, dass eine gleicherorts durchgeführte Beprobung mit einer aktiven Bodengasmethode zu völlig

**Aromatische Kohlenwasserstoffe:** von C<sub>6</sub> (Benzol) bis C<sub>12</sub> (C<sub>6</sub> Alkylbenzol), z.B. Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol (BTXE)

**Alkane** (Aliphatische Kohlenwasserstoffe, Paraffine): Alle aliphatischen Kohlenwasserstoffe von C<sub>4</sub> (Butan) bis C<sub>15</sub> (Pentadekan), C<sub>2</sub> (Ethan); inklusive Alkane und Cycloalkane mit verschiedenen Alkyl-Gruppen,

**Alkene** (Olefine, mit C-C - Doppelbindung): Alle Alkene von C<sub>3</sub> (Propylen) bis C<sub>15</sub> (Pentadeken) sowie die Cycloalkene C<sub>4</sub> bis C<sub>15</sub>; inklusive solche mit Alkyl- und anderen Kohlenwasserstoff-Gruppen

**Diene** (enthalten 2 C-C - Doppelbindungen): von C<sub>6</sub> - C<sub>16</sub>

**Alkine** (enthalten eine C-C - Dreifachbindung): von C<sub>6</sub> - C<sub>16</sub>, z.B. Acetylen

**Styrole**, z.B. Styrol (Ethenbenzol), Methylstyrol, C<sub>2</sub> - C<sub>6</sub> Styrole

**Mischungen:** Frische und degradierte Kohlenwasserstoff- Mischungen, z.B. Benzin, Diesel, Flugzeugtreibstoffe, Hydrauliköl, Schmier- und Dichtungsmittel, Kühlmittel, Schneide-Öl, Kreosot

**Flüchtige halogenierte Stoffe**, z.B. Vinylchlorid (Chlorethen), Methylenchlorid, Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff, Dichlorethan, Trichlorethan, Tetrachlorethan, Dichlorethylen, Trichlorethylen, Tetrachlorethylen (Perchlorethylen), Chlorbenzole

**Schwerflüchtige organische Verbindungen**, z.B. Abbauprodukte von Pestiziden und PCBs wie Dichlorbenzol, Trichlorbenzol, Tetrachlorbenzol; Phenole, DNT

**Schwefelverbindungen**, z.B. Schwefelwasserstoff, Schwefeldioxid, Schwefelkohlenstoff, Kohlenoxidsulfid (Carbonylsulfid)

**Andere**, z.B. Alkohole, Ketone, Aldehyde

**Tabelle 1:** Mit PETREX nachweisbare Substanzen (Auswahl)

anderen Resultaten führte, was die Verteilung der Substanzen im Boden betraf; zudem sprach die Methode auf mehrere der mit PETREX und konventionellen Bodenanalysen nachgewiesenen Substanzen gar nicht an.

- Die Proben unter Beton zeigten als Effekt der Stauwirkung der Betondecke statisch einen höheren Ionenfluss als das offene Nachbargelände.

## Schlussfolgerungen

Die PETREX Bodengas-Technik stellt eine ideale primäre Erkundungsmethode dar, weil sie rasch, einfach anzuwenden, flächendeckend und kostengünstiger als andere Methoden (wie z.B. aktive Bodengasmethoden, Bohrungen, Piezometer, Bodenanalytik) ist. Die Methode hat sich deshalb vielerorts auch bei der Erarbeitung von Grundlagen für eine Sanierungsplanung bewährt. Es wird eine frühzeitige, umfassende Problemdefinition ermöglicht, was erlaubt, andere zur Problemlösung geeignete Methoden gezielt einzusetzen und damit Erkundungs- oder Sanierungskosten zu optimieren. PETREX findet im Umweltbereich breite Anwendung bei Schadstoffhebungen, Schadenfällen und Sanierungen, sowie bei Audits im Zusammenhang mit Liegenschaftskäufen und -verkäufen.

Klare Vorteile der Methode sind:

- a) Passivsammler in Kombination mit hochauflösender Massenspektrometrie erlauben den direkten Nachweis und die zuverlässige Identifikation von ca. 9'000 flüchtigen (inklusive vielen schwerflüchtigen) organischen Verbindungen im Boden und im Grundwasser.
- b) Über die Ausbreitung und relative Häufigkeit der Schadstoffsubstanzen können detaillierte Aussagen gemacht werden.
- c) Generell besteht eine gute Übereinstimmung zwischen den Schadstoffen im Grundwasser und den an der Terrainoberfläche gemessenen Bodengaswerten.
- d) Computerisierte chemometrische und geostatistische Methoden führen zu einer genauen, wissenschaftlich plausiblen Interpretation und einer grafisch ausgereiften Darstellung der Verhältnisse in Form von farbigen Isolinienkarten (Isoplethen, Linien gleichen Ionenflusses).
- e) Modernste digitalisierte Referenzbibliotheken erlauben den Nachweis vieler schlecht bekannter bzw. unerwarteter Verbindungen.
- f) Mit einer leicht angepassten Probenahmetechnik können Schadstoffaustritte selbst unter Wasser (z.B. in einem See) bzw. Kontakte von verschmutztem Grundwasser mit Oberflächengewässern nachgewiesen werden.

#### *Ausgewählte weiterführende Literatur*

- EINHORN, N.I., MOORE, G.S., VIEILLENAVE, J.H., and HICKEY, J.C., «Advances in Determining Soil Contaminants». *Soils*, July-August, S. 40-43, 1991
- VOORHEES, K.J., HICKEY, J.C. and KLUSMAN, R.W., «Analysis of Groundwater Contamination by a Near Surface Trapping/Mass Spectrometry Technique». *Anal. Chem.* 56 (13), S. 2604-7, 1984
- DEVITT, D.A., EVANS, A.B., JURY, W.A., STARKS, T.H., EKLUND, B.A. and GHOLSAR, A., «Soil Gas Sensing for Detection and Mapping of Volatile Organics». Report No. EPA/600/8-97/036, USEPA, Las Vegas, 1987
- HICKEY, J.C., «Preliminary Investigation of an Integrative Gas Geochemical Technique for Petroleum Exploration». Unpublizierte Master's Thesis, Colorado School of Mines, 1986
- SMITH, B., HICKEY, J.C., and MCCULLEN, R.E., «Comparison of Active Versus Passive Soil Gas Techniques at a Chemical Manufacturing Facility in Central New Jersey». *Proc. of Can. Inst. Hyg. Meeting, Calgary* (im Druck), 1990
- MALLEY, M.J., BATH, W.W., BONGERS, L.H., «A Case History: Surface Static Collection and Analysis of Chlorinated Hydrocarbons from Contaminated Groundwater». Präsentiert am NWWA/API Kongress «Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Groundwater», Houston, Texas, S. 1-10, November 1985
- VIEILLENAVE, J.H. and HICKEY, J.C., «Use of High Resolution Passive Soil Gas Analyses to Characterize Sites Contaminated with Unknowns, Complex Mixtures, and Semi-Volatile Compounds». *Sampling and Monitoring, Proc. 11th National Conf. Superfund 90*, publiziert durch das Hazardous Materials Control Research Institute, Silver Spring, Maryland., S. 340-7, 1991
- FRIEDMAN, A.J., and BRUYA, J.E., «Fingerprinting Crude: Identifying Petroleum Products is Key Issue in Clean Up». *Soils*, January-February, S. 38-41, 1991
- MARRIN, A.L., «Detection of Non-Volatile Hydrocarbons Using A Modified Approach in Oil Gas Surveying». *Proc. Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Groundwater*, S. 87-95, NWWA, Dublin, OH, 1989
- VROBLESKY, D.A., LORAH, M.M., and TRIMBLE, S.P., «Mapping Zones of Contaminated Ground-Water Discharge Using Creek-Bottom-Sediment Vapor Samplers, Aberdeen Proving Ground, Maryland». *Groundwater*, 29(1), S. 6-12, 1991

