



Universität Stuttgart  
Institut für Wasserbau

Wissenschaftlicher Leiter VEGAS  
J. Braun, PhD ☎ 685-67018  
Technischer Leiter VEGAS  
Dr.-Ing. H.-P. Koschitzky ☎ 685-64716

Pfaffenwaldring 61  
D - 70550 Stuttgart  
Telefon + 49 (0) 711 685 - 64717  
Telefax + 49 (0) 711 685 - 67020

## Wissenschaftlicher Bericht

Nr. 2009/04 (VEG 35)

Projektverbund Vor-Ort-Messtechnik, TV 1: Entwicklung eines Validierungsverfahrens als Voraussetzung für den Technologietransfer in die Praxis der Altlastenbearbeitung

Verfasser: Braun, Jürgen  
Heitmann, Tobias  
Klaas, Norbert

Projektleiter: Klaas, Norbert

Auftraggeber: Projektträgerschaft BMBF (Projekt: 0330672)

Berichtsstand: Schlussbericht

Stuttgart, den 31. März 2009

(Braun, J.)

(Heitmann, T.)

(Klaas, N.)

## Abschlussbericht

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Stuttgart Institut für Wasserbau, VEGAS Postfach 10 60 37 70049 Stuttgart	<b>Förderkennzeichen:</b> 0330672
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbund Vor-Ort-Messtechnik, TV 1: Entwicklung eines Validierungsverfahrens als Voraussetzung für den Technologietransfer in die Praxis der Altlastenbearbeitung	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2005 bis 30.09.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.04.2005 bis 30.09.2008

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung unter dem Förderkennzeichen **0330672** gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Die Autoren dieses Berichts danken ausdrücklich den Gutachtern für Ihre aktive und wertvolle Mitwirkung an den Projektaktivitäten und den Projektsitzungen:

Frau H. Herrmann, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Herr U. Eckhoff, LUA Essen

Herr M. Fickus, Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht

Herr G. Hirschmann, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg

Herr U. Kallert, Umweltministerium Niedersachsen

Herr F. Kern, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Herr P. Mittag, Landratsamt Tübingen

Des Weiteren bedanken wir uns bei folgenden Personen für Textbeiträge zu diesem Bericht:

Herr A. Baermann, Dr. Baermann & Partner

Herr J. Flachowsky, Gast am Umweltforschungszentrum Leipzig

Herrn P. Mittag, Landratsamt Tübingen

Herr M. Ludewig, Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Angewandte Geologie

Herr R. Söhlmann, Berghof Analytik Umweltengineering GmbH & Co.KG Tübingen

Herr W. Ruck, Universität Lüneburg, Institut für Ökologie und Umweltchemie

# Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Problemstellung	4
1.2	Ansatz	4
1.3	Projektkonsortium und Funktion der Partner	5
2	Internationale Verifizierungssysteme	7
2.1	Weltweite Systeme	7
2.1.1	Kanada	7
2.1.2	USA	7
2.1.3	Südkorea	8
2.1.4	Japan	8
2.1.5	Philippinen	9
2.2	Europäische Ansätze	9
2.2.1	Allgemeine Grundzüge	9
2.2.2	Momentaner Stand EU-Verifizierungssystem	11
2.2.3	CEN Workshop Agreement	15
3	Alternatives Verifizierungssystem	18
3.1	Zielstellung	18
3.2	Spezifisches Verifizierungssystem für Umweltmesstechnik	19
3.2.1	Grundzüge	19
3.2.2	Schwierigkeiten bei Verifizierungen	22
3.2.2.1	Festlegung von Herstelleransprüchen (“Claims”)	22
3.2.2.2	Referenzen und Toleranzen	23
3.2.2.3	Qualitätssicherung	25
3.2.2.4	Fehlschläge	26
3.2.2.5	Verhältnis zwischen Tests im Labor und im Feld	26
3.2.3	Verifizierungssystem in der Praxis	28
4	Geräte	29
4.1	Übersicht	29
4.2	Geräte im Einzelnen	30
4.2.1	MOX-Box VEGAS	31
4.2.2	Thermoflow-System	33
4.2.3	Faserfluorometer	36
4.2.4	Mobiler GC-PID	38
4.2.5	Mobiler Massenspektrometer von Bruker Daltonik	39
4.2.6	CKW-Probennehmer	42
4.2.7	Multilevelmessstelle mit Minidruckpumpe (CMT-Messstelle)	45
5	Felddemonstrationen	49
5.1	Übersicht	49
5.2	Beschreibung der Felddemonstrationen	50
5.2.1	Standort in Frankfurt	50
5.2.2	Standort in Bydgoszcz, Polen	56
5.2.3	Standort in Hamburg	68
5.2.4	Standort in Kiel	75

	5.2.5 Standort in Hockenheim .....	79
	5.2.6 Standort in Bitterfeld .....	86
	5.2.7 Standort bei Mainz .....	92
	5.3 Messungen im VEGAS Großbehälter .....	96
6	Strategische Entwicklungen .....	104
7	Bewertung durch die Projektbeteiligten .....	107
	7.1 Ingenieurbüros .....	107
	7.2 Produzenten innovativer Technik .....	108
	7.2.1 Einleitung .....	108
	7.2.2 Technische Realisierbarkeit .....	108
	7.2.3 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten .....	109
	7.2.4 Akzeptanz des Marktes .....	109
	7.3 Behörden .....	110
	7.4 Testeinrichtung .....	111
8	Zusammenfassung und Ausblick .....	111
	8.1 Förderung von Produkten mit Verifizierung .....	111
	8.2 Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie .....	113
9	Literatur .....	114
10	Anhang .....	115
	10.1 Zusatzinformationen zu den Tests am VEGAS-Großbehälter .....	115
	10.1.1 Lage der CMT-Messstellen und 1-Zoll Messstellen im Großbehälter .....	115
	10.1.2 Hydraulische Verhältnisse (Druckhöhen) im Großbehälter .....	115
	10.1.3 Koordinaten der Referenzmessstellen im Behälter .....	116
	10.1.4 Statistische Auswertungen der Probennahmetechniken .....	117
	10.1.5 Fotos der Messkampagne im VEGAS Großbehälter .....	118
	10.2 Zusätzliche Angaben (kurzgefasster Erfolgskontrollbericht) .....	120

## **1 Einleitung**

### **1.1 Problemstellung**

Bei der Markteinführung von innovativen Produkten stoßen Hersteller häufig auf erhebliche Probleme, da potentielle Käufer zunächst vom Nutzen der neuen Produkte überzeugt werden müssen. Speziell im Umweltbereich kommt zu dieser Skepsis auf Seiten der Käufer noch eine Skepsis von den Behörden, die bei Entscheidungen maßgeblich beteiligt sind. Vor diesem Hintergrund haben es selbst gute Produkte schwer sich am Markt durchzusetzen. Ein weiteres Hemmnis ist der Umstand, dass neue Produkte zuerst an etablierten Produkten gemessen werden und sich dann nur durchsetzen können, wenn sie kostengünstiger sind bei gleicher oder besserer Leistung.

Im Bereich innovativer Messtechniken besteht darüber hinaus noch das Problem, dass die neuen Produkte häufig nicht direkt mit etablierten Geräten vergleichbar sind, da die neuen Geräte sich anderer Vorgehensweise und Strategien bedienen, um z.B. einen Standort zu charakterisieren. In diesem Fall genügt es nicht kostengünstiger bessere Ergebnisse zu liefern, da spätestens bei der Beurteilung der erstellten Ergebnisse durch die Behörden die Akzeptanz fraglich ist.

Diese Situation hemmt in starkem Maß die Innovationsfreudigkeit auf der Seite von Entwicklern und Produzenten und ist damit letztlich ein Hemmnis für die Wirtschaft und auch schädlich im Sinne des Umweltschutzes.

### **1.2 Ansatz**

Eine Möglichkeit, um innovative Produkte bei der Markteinführung zu unterstützen ist es, die Funktionalität und den Mehrwert neuer Produkte durch unabhängige Tests zu belegen. Derartige Ansätze zu Produktverifizierungen finden sich in den internationalen ETV-Systemen wieder (Environmental Technology Verification), die beispielsweise in den USA und Kanada, aber auch in anderen Ländern, seit Jahren etabliert sind. Auch in Europa gibt es zur Zeit Bestrebungen ein solches System europaweit einzuführen. Für diesen europäischen Ansatz werden von der europäischen Kommission mehrere Forschungsprojekte gefördert, in denen für verschiedene Marktsegmente im Umweltbereich Vorgehensweisen entwickelt werden, die dann in ein einheitliches System zusammengeführt werden sollen (siehe Kapitel 2).

Im vorliegenden Forschungsvorhaben sollte ein speziell auf diesen Markt zugeschnittenes, gleichzeitig aber mit den anderen Systemen kompatibles System entwickelt werden. Dieses alternative System sollte sich auf ein Mindestmaß an bürokratischem Überbau beschränken, möglichst praxisnah sein und gleichzeitig alle Betroffenen einbeziehen. Die Grundzüge und die Rahmenbedingungen wie auch besondere Schwierigkeiten, die bei der Umsetzung auftreten können, sind in Kapitel 3 dargelegt.

Parallel wurde im Teilvorhaben der Universität Karlsruhe (“Softwaregestützte Optimierung der Vorgehensweise beim Einsatz der Vor-Ort-Analytik im Feld mittels neuronaler Netze”) ein Softwarewerkzeug entwickelt. Dieses unterstützt sowohl die Verifizierung von innovativen Messtechniken durch eine Bereitstellung einer verbesserten Qualität von Referenzwerten als auch den routinemäßigen Feldeinsatz solcher Techniken durch Hilfe bei der gezielten Fortführung von Erkundungen oder Messkampagnen. Auf diese Aspekte wird im Kapitel 6 näher eingegangen.

### 1.3 Projektkonsortium und Funktion der Partner

Für diese ambitionierte Aufgabe wurde im Vorfeld des Vorhabens ein Konsortium zusammengestellt, wobei hier auf Erfahrungen aus einem Projektverbund, der von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in den Jahren 2002 bis 2005 gefördert wurde, zurückgegriffen werden konnte (“High-Tech Methoden zur Untergrundsondierung: Entwicklung von Messsystemen zur sensorgestützten in situ-Sondierung von Industriebrachen”).

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Projektbeteiligten und ihre Funktion:

**Tabelle 1:** Projektbeteiligte und Funktion

	<b>Institution / Person</b>	<b>Funktion</b>
I	VEGAS, Stuttgart	Projektkoordinierung, Stellung von Testinfrastruktur, Stellung von Geräten, Projektleitung Teilvorhaben 1 (Entwicklung eines Validierungsverfahrens als Voraussetzung für den Technologietransfer in die Praxis der Altlastenbearbeitung)
	Dr. Flachowsky, Leipzig	Koordinierung Feldaktivitäten, Beratung bzgl. Einsatzstrategien

	Dr. Baermann und Partner, Hamburg	Bereitstellung von Testobjekten, ingenieurmäßige Abwicklung von Feldeinsätzen, Beratung
	Prof. Ruck, Lüneburg	Beratung bzgl. Qualitätssicherung
	Berghof Umweltingeering, Tübingen	Beratung und Projektbegleitung als Produzent, Beratung und Projektbegleitung als Ingenieurbüro
II	Geologisches Institut, Universität Karlsruhe	Softwaretools zur Entscheidungsfindung bei dynamischen Erkundungen, Tools zur Qualitätssteigerung von Referenzwerten bei Verifizierungen, Projektleitung Teilvorhaben 2 (Softwaregestützte Optimierung der Vorgehensweise beim Einsatz der Vor-Ort-Analytik im Feld mittels neuronaler Netze)
III	Gutachter	Gutachtergremium mit 7 Experten von Landesorganisationen sowie aus der kommunalen Verwaltung zur Projektbegleitung und -Steuerung

Das Projektkonsortium umfasst als Projektpartner ausgewiesene Fachleute aus den Bereichen Vor-Ort-Messtechnik, Altlastenbearbeitung (Ingenieurbüros), Qualitätssicherung sowie einen Produzenten von innovativen Messgeräten. Zusätzlich wurde ein externes Gutachtergremium zusammengestellt, in dem Experten von kommunalen Behörden und Landesbehörden aus dem Altlastenbereich sitzen. Diese fachkundige Projektbegleitung wurde von einem Teilprojekt der Universität Karlsruhe komplettiert, in dem strategische Aspekte im Bereich der Erkundung und Aspekte der Datenverarbeitung behandelt wurden. Mit diesem großen Projektkonsortium sollten alle hier relevanten Aspekte abgedeckt und mit der nötigen Fachkompetenz hinterlegt werden. Das Gutachtergremium wurde regelmäßig in Gutachtersitzungen über den Stand der Aktivitäten informiert und lieferte dabei deutlich steuernden Input ins Projekt.



## 2 Internationale Verifizierungssysteme

### 2.1 Weltweite Systeme

#### 2.1.1 Kanada

Das kanadische System [<http://www.etvcanada.com>] war das weltweit erste Verifizierungssystem und wurde bereits im Jahre 1995 etabliert. Verifiziert werden können Verfahren und Technologien wie auch Dienstleistungen im Umweltbereich. Die Verifizierung basiert dabei auf „Claims“ (Herstelleransprüchen). Diese müssen eindeutig sein und auf einem Zahlenwert basierend die Leistungsfähigkeit



Abb. 1: Logo ETV-Kanada

einer Technik beschreiben. Vergleichende Bewertungen im Sinne von Vergleichen mit Konkurrenzprodukten sind ausdrücklich ausgeschlossen. Als Besonderheit verzichtet das kanadische System auf die Durchführung von eigenen Tests und beschränkt sich auf die Beurteilung von Daten, die der Antragsteller zur Verfügung stellt. Für diese Daten gelten gewisse Bedingungen, was die Neutralität der Prüfstelle angeht, die diese Daten erstellt hat. Die Begutachtung der Daten wird durch akkreditierte Prüfstellen vorgenommen.

Organisatorisch ist das ETV-System Kanadas einer non-Profit Organisation angegliedert (Ontario Centre for Environmental Technology Advancement, OCETA). Über diese Organisation haben Interessenten auch Zugang zu Förderprogrammen, die das Kostenrisiko, die eine Verifizierung bietet, für Anbieter abmildern.

#### 2.1.2 USA

Kurz nach dem kanadischen System wurde auch in den USA ein Verifizierungssystem etabliert [<http://www.epa.gov/etv>]. Dieses System wurde unter dem Dach der amerikanischen Umweltbehörde



Abb. 2: Logo ETV-USA

(EPA, Environmental Protection Agency) realisiert. Anders als in Kanada sind im amerikanischen System Tests Bestandteil der Verifizierung. Diese werden durch anerkannte Testcenter durchgeführt. Auch hier steht am Anfang ein Herstelleranspruch, der nach einheitlichen Prozeduren durch die Testcenter geprüft wird. Neben Einzelanträgen zu Verifizierungen durch Hersteller oder Anbieter von Technologien

oder Dienstleistungen werden im amerikanischen System auch Ausschreibungen zu bestimmten Themen durchgeführt. Hier werden dann mehrere ähnliche Techniken parallel getestet.

Über die EPA besteht auch in den USA ein Zugang zu staatlichen Förderprogrammen. Im Nachgang zu den Ereignissen im September 2001 wurde das amerikanische Verifizierungssystem auf den „home security“ Bereich erweitert, von wo es auch starken Zulauf hatte und in den erhebliche staatliche Fördermittel flossen.

### **2.1.3 Südkorea**

In Korea wurde eine öffentliche Institution geschaffen (Environmental Management Corporation, EMC), die direkt dem Umweltministerium zugeordnet ist [<http://www.emc.or.kr>]. Die Ziele dieser Organisation sind breiter angelegt als bei den nordamerikanischen Verifizierungsorganisationen und umfassen das Management von Monitoringprogrammen in der Umwelt, den Bau und Betrieb von Behandlungsanlagen bis hin zur Förderung der Umweltindustrie. Seit kurzem ist die EMC zusätzlich zuständig für ein Verifizierungsprogramm für innovative Umwelttechnologien sowie für die Vergabe eines Zertifikats für nachhaltige Produktion.

Bislang beschränkten sich die Aktivitäten im Bereich Verifizierung auf staatliche Monitoringprogramme, hauptsächlich im Bereich Luftreinhaltung und Treibhausgase.

### **2.1.4 Japan**

In Japan wurde im Jahr 2003 vom Umweltministerium ein Pilotprojekt ins Leben gerufen mit dem Ziel ein ETV System zu etablieren. Auch hier stand die Förderung der Wirtschaft im Vordergrund, aber man versprach sich auch positive Impulse für den Umweltschutz. Das Pilotprojekt wird fast ausschließlich mit Fördermitteln finanziert. Seit 2005 werden entsprechende Logos vergeben, wobei zu untersuchende Technologien durch Ausschreibungen für bestimmte Bereiche ausgewählt werden.

Ansonsten orientiert sich das japanische System stark am Rahmen des Systems der USA. Für das Jahr 2008 war die Ausweitung der Verifizierungen auf weitere Bereiche der Umwelt und die Etablierung des endgültigen Systems vorgesehen, nachdem sich dort eine Reihe von Institutionen als unabhängige Untersuchungsstellen etabliert haben.

### **2.1.5 Philippinen**

Anfang 2006 wurde auch auf den Philippinen die Einrichtung eines ETV-Programms beschlossen, wobei hier weniger die Wirtschaftsförderung als vielmehr die Belange des Umweltschutzes im Vordergrund standen. Diese Aktivitäten wurden dem Ministerium für Wissenschaft und Technologie (DOST) in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Umwelt und natürliche Rohstoffe (DENR) zugeordnet. Unter Federführung des DOST sollen zunächst Protokolle und Ablaufschemas für Verifizierungsverfahren für die Bereiche Abfallwirtschaft, Monitoring und Sanierung von Umweltbelastungen, Bewertung von Umwelttechniken sowie „cleaner production“ erarbeitet werden.

Auch der philippinische Ansatz basiert sehr stark auf den Grundzügen des US-amerikanischen Systems.

Alle diese Systeme haben für den Bereich der innovativen Messtechnik im Umweltbereich den Nachteil, dass sie für den Hersteller zu teuer sind und nicht wirklich in der Lage sind die Akzeptanz neuer Techniken zu fördern.

## **2.2 Europäische Ansätze**

### **2.2.1 Allgemeine Grundzüge**

Ein deutlicher Unterschied des europäischen Markts mit zur Zeit 27 Einzelstaaten zu anderen Märkten liegt in der starken Diversität, die ein Hauptgrund für die im Vergleich zu anderen Ländern späten Aktivitäten der EU im Hinblick auf die Etablierung eines Verifizierungssystems ist. Diese Diversität äußert sich sowohl in der Umweltgesetzgebung und damit bei den Anstrengungen einer Förderung von umweltfreundlichen Produktionstechniken und Produkten als auch bei den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen vor dem Hintergrund der Wirtschaftsförderung.

Im den Jahren 2004 bis 2006 wurden vom IPTS (Institute for Prospective Technological Studies), einem der sieben wissenschaftlichen Institute der EU, zwei Studien angefertigt, auf deren Basis Forschungsansätze in Richtung eines europäischen ETV-Systems in die Ausschreibung des 6. Forschungsrahmenprogramms der EU aufgenommen wurden (Merkourakis et al., 2007). Es wurden in der Folge mehrere Projekte in verschiedenen Bereichen (Monitoring und Sanierung [PROMOTE<sup>1</sup>], Ab-

---

<sup>1</sup> WWW.PROMOTE-ETV.ORG

wasser und Produktion [TESTNET<sup>2</sup>], Luftreinhaltung [AIRT<sup>3</sup>]) sowie ein Demonstrationsprojekt [EURODEMO<sup>4</sup>] gefördert. Im zum Rahmenprogramm parallel laufenden Life Program der EU wird derzeit ein Projekt<sup>5</sup> gefördert, das in Form von Pilotanwendungen die Erkenntnisse aus der Forschung in ein praktikables System überführen soll. Einen Überblick über die EU Forschungsaktivitäten gibt Abbildung 3 [nach Track 2006].

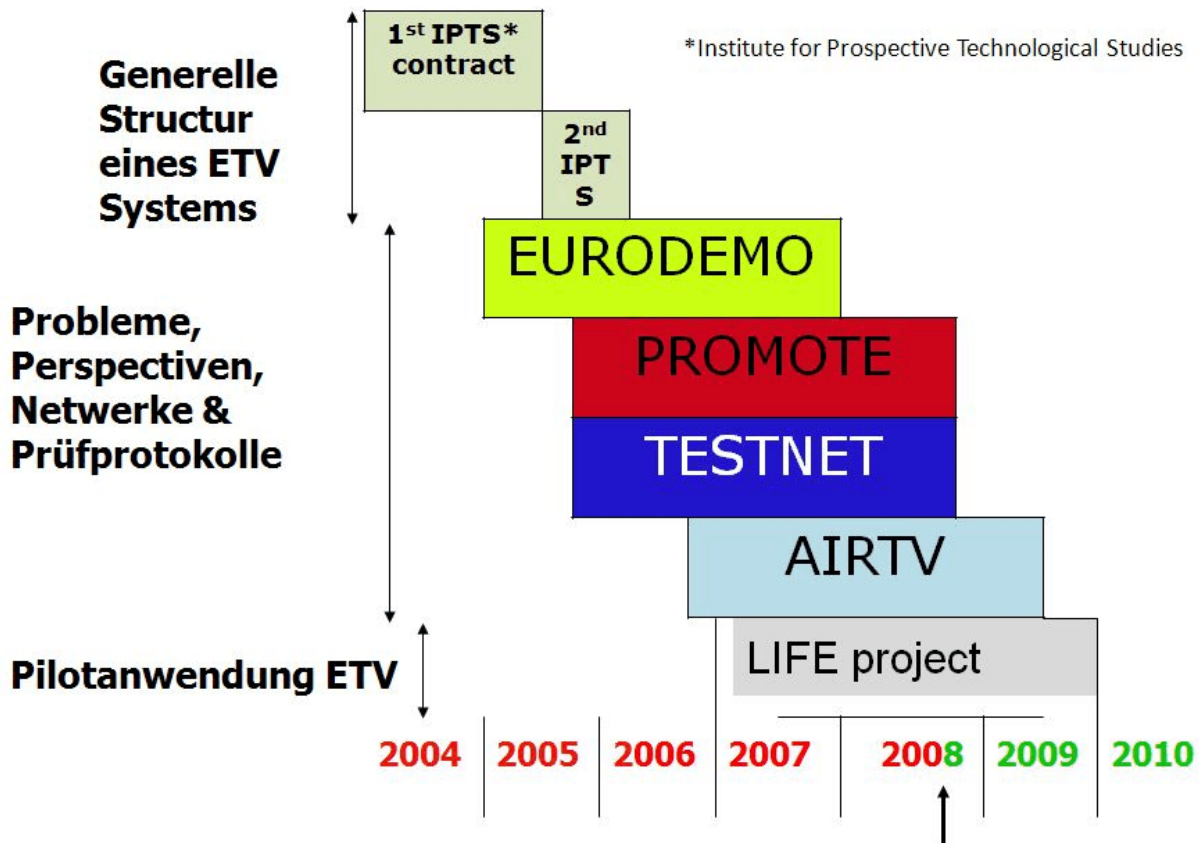


Abb. 3: Zeitlicher Ablauf der Entwicklung eines EU-Verifizierungssystems

Bereits bei den Studien der IPTS wurde klar, dass die direkte Übertragung eines der existierenden Systeme auf die europäischen Verhältnisse nicht möglich sein wird. Dafür sind nicht nur die oben erwähnten Probleme mit der Diversität des EU-Marktes verantwortlich, sondern auch gewisse Schwächen der einzelnen existierenden Systeme, die sich zumindest in bestimmten Bereichen des Umweltmarktes gezeigt hatten. Mit den umfangreichen Forschungsaktivitäten der EU im Hinblick auf die Etablierung eines

<sup>2</sup> WWW.TESTNET.ORG

<sup>3</sup> WWW.AIRT.VU

<sup>4</sup> WWW.EURODEMO.INFO

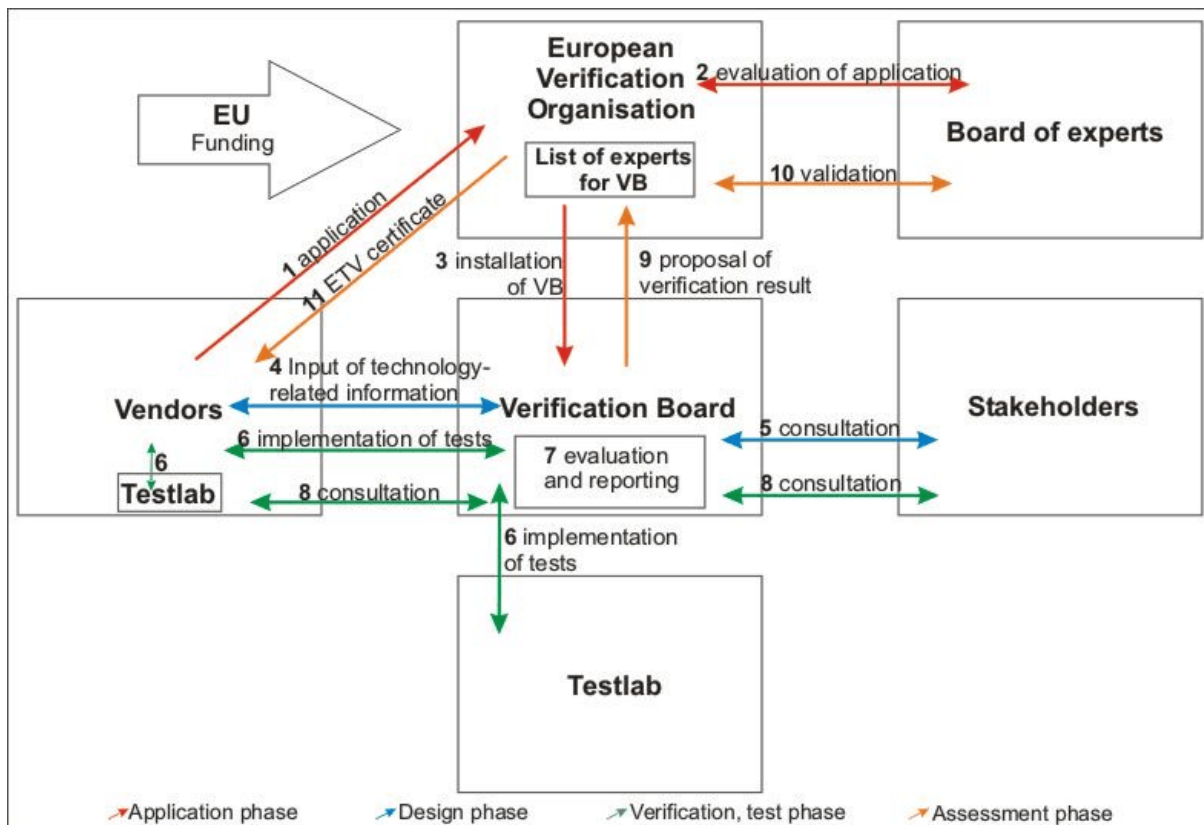
<sup>5</sup> WWW.LIFEETV.COM

EU-weiten Verifizierungssystem wurde auch der Wunsch verbunden, ein über alle Bereiche der Umwelt und der hier vorhandenen Marktsegmente einheitliches System zu schaffen. Dass hierbei auch die Besonderheiten einer immer noch wachsenden Gemeinschaft mit ihren vielfältigen Unterschieden berücksichtigt werden sollten, zieht die Schaffung eines solchen einheitlichen Systems weiter in die Länge.

### **2.2.2 Momentaner Stand EU-Verifizierungssystem**

Durch die verschiedenen Projekte, die in der EU gleichzeitig liefen bzw. noch laufen, gibt es verschiedene Ansätze und Vorschläge, die Struktur des Verifizierungssystems anzugehen. Obwohl zwischen den einzelnen Projekten ein reger Austausch stattfand, was von der EU bewusst gewollt war, haben sich für die einzelnen Bereiche (siehe voriges Kapitel) doch unterschiedliche Vorgehensweisen ergeben. Bezüglich der Organisation des Systems besteht aber weitgehend Einigkeit. Abbildung 4 gibt einen Überblick, wie das europäische System aufgebaut sein soll und wie sich der Ablauf einer Verifizierung gestalten soll. Da ein Teil der Projekte noch läuft und ein endgültiger Beschluss der EU-Kommission zu diesem Thema nach optimistischen Schätzungen erst 2011 erwartet wird (Henry, P., 2008), hat diese Darstellung noch vorläufigen Charakter. Allerdings dürfte das endgültige Verifizierungssystem im Wesentlichen dem entsprechen.

Das System wird wie die Systeme in Nordamerika „claim-basiert“ sein, d.h. es werden Herstelleransprüche geprüft, wobei die Prüfung extern geschehen kann oder durch Prüflabors, die im System anerkannt sind. Die einzelnen Beteiligten aus dem dargestellten Schema sowie deren Funktion sind folgende:



**Abb. 4:** Ablauf einer Verifizierung im geplanten EU-Verifizierungsschema (Stand Ende 2008)

- *European Verification Organisation*

Die European Verification Organisation (EVO) soll eine permanente Einrichtung der europäischen Kommission mit einer relativ geringen Mitarbeiterzahl sein. Das Büro der EVO soll die zentrale, europäische Anlaufstelle für alle Anträge werden. Die EVO hält Datenbanken mit Experten vor, die für bestimmte Bereiche als Verifizierungsexperten (siehe: Verification Board) fungieren können. Außerdem sind bei der EVO die Kontaktdaten von Testlabors, Experten für das „Board of Experts“ sowie „Stakeholders“ bekannt. Das EVO stellt zu Beginn einer Verifizierung das Verification Board zusammen und bestimmt einen Hauptverantwortlichen (Manager) für die Verifizierung. Nach erfolgter Verifizierung prüft das EVO den Verifizierungsbericht nach organisatorischen Gesichtspunkten und vergibt ggf. das ETV-Zertifikat.

- *Verification Board*

Das Verification Board (VB) setzt sich aus Experten für die spezielle zu testende Technologie zusammen. Ein Mitglied des VB fungiert als Hauptverantwortlicher, der mit den organisatorischen Rahmenbedingungen des ETV-Systems vertraut ist und den direkten Kontakt zur EVO hält. Je nach Umfang und Komplexität der Technik und der

zu testenden Kriterien besitzt das VB unterschiedliche Größe und kann mit Einzelpersonen, Labororganisationen oder Expertenbüros besetzt sein. Nach beendetem Verifizierungsverfahren wird das VB grundsätzlich aufgelöst. Aufgabe des VB sind die Prüfung der Antragsformulare, die fachliche Diskussion der vom Antragsteller formulierten Claims, die Erstellung von entsprechenden Prüfplänen (ggf. in Absprache mit dem Antragsteller und dem Testlabor), evtl. die Begleitung der Tests, die Bewertung der Testergebnisse und der Dokumentation sowie die Erstellung eines entsprechenden Berichts mit einer Empfehlung an die EVO.

- *Test Lab*

Falls im Verlauf einer Verifizierung Tests durchgeführt werden sollen, wird vom VB in Abstimmung mit dem Antragsteller ein Testlabor mit der Durchführung der Tests beauftragt. Das Testlabor wird ggf. bereits bei der Erstellung von Prüfplänen oder sogar schon bei der Diskussion von Claims hinzugezogen, um bei komplexen Verifizierungsverfahren bereits in einem frühen Stadium die Aspekte der Umsetzbarkeit (oder auch Kostenaspekte) in die Diskussion einbringen zu können. Aufgabe des Testlabors ist es dann die Detailpläne für die Tests auszuarbeiten und mit dem VB abzugleichen, insbesondere auch was die Datenübergabe angeht. Das Testlabor ist für die Einhaltung von Vorgaben bezüglich der Qualitätssicherung verantwortlich. Die Forderung nach einer Akkreditierung der Testlabors (z.B. nach ISO 17025) als Grundvoraussetzung für die Zulassung für Verifizierungsverfahren wird im Moment innerhalb der EU-Forschungsprojekte noch diskutiert.

- *Board of Experts (BOE)*

Im BOE werden ggf. erfahrene Fachleute zusammengezogen, die als unabhängige Experten ihre Expertise in der Planungsphase sowie in die Bewertung einer Verifizierung einbringen. In dieses BOE können Vertreter verschiedener Institutionen wie Universitäten, Behörden oder der Industrie berufen werden.

- *Vendor*

Der Vendor, in der Regel der Entwickler, Produzent oder Anbieter einer Technologie, ist der primäre Nutznießer eines Verifizierungsverfahrens. Er kommt mit seinem Produkt auf das Verifizierungssystem zu und stellt Claims zur Leistungsfähigkeit seines Produkts auf. Er muss die notwendigen Informationen zur Verfügung stellen, auf deren Basis Tests geplant und beurteilt werden können. Unter Umständen bringt er bereits

bei der Antragsstellung belastbare Daten mit, auf deren Basis evtl. auch ohne weitere Tests entschieden werden kann. Als Nutznießer hat der Antragsteller auch für die Kosten der gesamten Verifizierung aufzukommen, d.h. er muss sich im Vorfeld über eine Kosten-Nutzen-Analyse Klarheit verschaffen, ob er das Verfahren überhaupt angehen will. Er kann sich auch um eine mögliche Kofinanzierung über Förderprogramme bemühen, um sein Risiko etwas zu dämpfen.

- *Stakeholders*

Unter dieser Bezeichnung, für die kein deutschsprachiges Äquivalent existiert, verbirgt sich die Zusammenfassung von allen Gruppen, die an einer Technik Interesse haben könnten oder davon betroffen sind. Für den vorliegenden Bereich wären dies zum Beispiel Vertreter aus lokalen oder regionalen Behörden, von Kommunen, von Ingenieurbüros, Standorteigner, Geräteentwickler, etc. Der Ablauf einer Verifizierung ist in Tabelle 2 im Detail dargestellt:

**Tabelle 2:** Ablauf einer Verifizierung im vorläufigen EU-System

Schritt	Aktion	Beteiligte Partner	Bemerkung
1	Antragsstellung durch Hersteller	Hersteller, Europäische Verifizierungsorganisation	
2	Bewertung des Antrags	Europäische Verifizierungsorganisation	optional: externe Experten
3	Einberufung eines Verifizierungsgremiums (VB-Experten)	Europäische Verifizierungsorganisation, VB-Experten	
4	Einholen von technologierelevanten Informationen	VB-Experten, Antragsteller	optional: Testlabor
5	Befragung von „stakeholdern“	VB-Experten, „stakeholder“	Schritt kann wegfallen
6	Planung und Durchführung von Tests	Testlabor, VB-Experten, Antragsteller	
7	Bewertung und Erstellung eines Testberichts	Testlabor, VB-Expert	optional: Antragsteller
8	Diskussion der Testergebnisse	VB-Experten, Antragsteller, Testlabor	optional: „stakeholder“
9	Vorstellung der Testergebnisse, Empfehlungen	VB-Experten, Europäische Verifizierungsorganisation	
10	Prüfung des Berichts	Europäische Verifizierungsorganisation	optional: Externe Experten, Schritt kann wegfallen
11	Gewährung des ETV Logos	Europäische Verifizierungsorganisation	bei positivem Testverlauf



### **2.2.3 CEN Workshop Agreement**

Als ein Ergebnis des EU-Projekts PROMOTE wurde ein CEN Workshop Agreement verabschiedet, das generelle Rahmenbedingungen für Tests festlegt (CEN - Comité Européen de Normalisation, Europäisches Komitee für Normung). Dies wurde vor dem Hintergrund gemacht, dass es noch Jahre dauern wird bis eine endgültige europäische Regelung in Kraft treten kann (s.o.). Das CEN Workshop Agreement (CEN/WS 32 N 040: „Environmental technology verification — Soil and groundwater site characterization, monitoring and remediation technologies“) legt somit bestimmte Regeln fest, die es Herstellern schon jetzt erlauben, Tests mit Ihren Produkten durchzuführen und die dabei entstehenden Daten später in ein ETV-System einzuspeisen. Ein CEN Workshop Agreement ist dabei als Regelwerk zu verstehen, das unterhalb eines Normcharakters Rahmenbedingungen festlegt. Die Verabschiedung einer solchen Vereinbarung geschieht nur dadurch, dass sich eine bestimmte Anzahl von Interessenten auf Regeln festlegt und diese allgemein zur Diskussion stellt. Im konkreten Fall wurde die Vereinbarung im September 2008 von Vertretern von 18 Institutionen aus ganz Europa endgültig verabschiedet. Es wird ein relativ einfaches Schema zum Ablauf einer Verifizierung verwendet (siehe Abbildung 5), wobei in einer Matrix (siehe Abbildung 6) verschiedene Fälle unterschieden werden, für die aber dieselbe prinzipielle Vorgehensweise gilt.

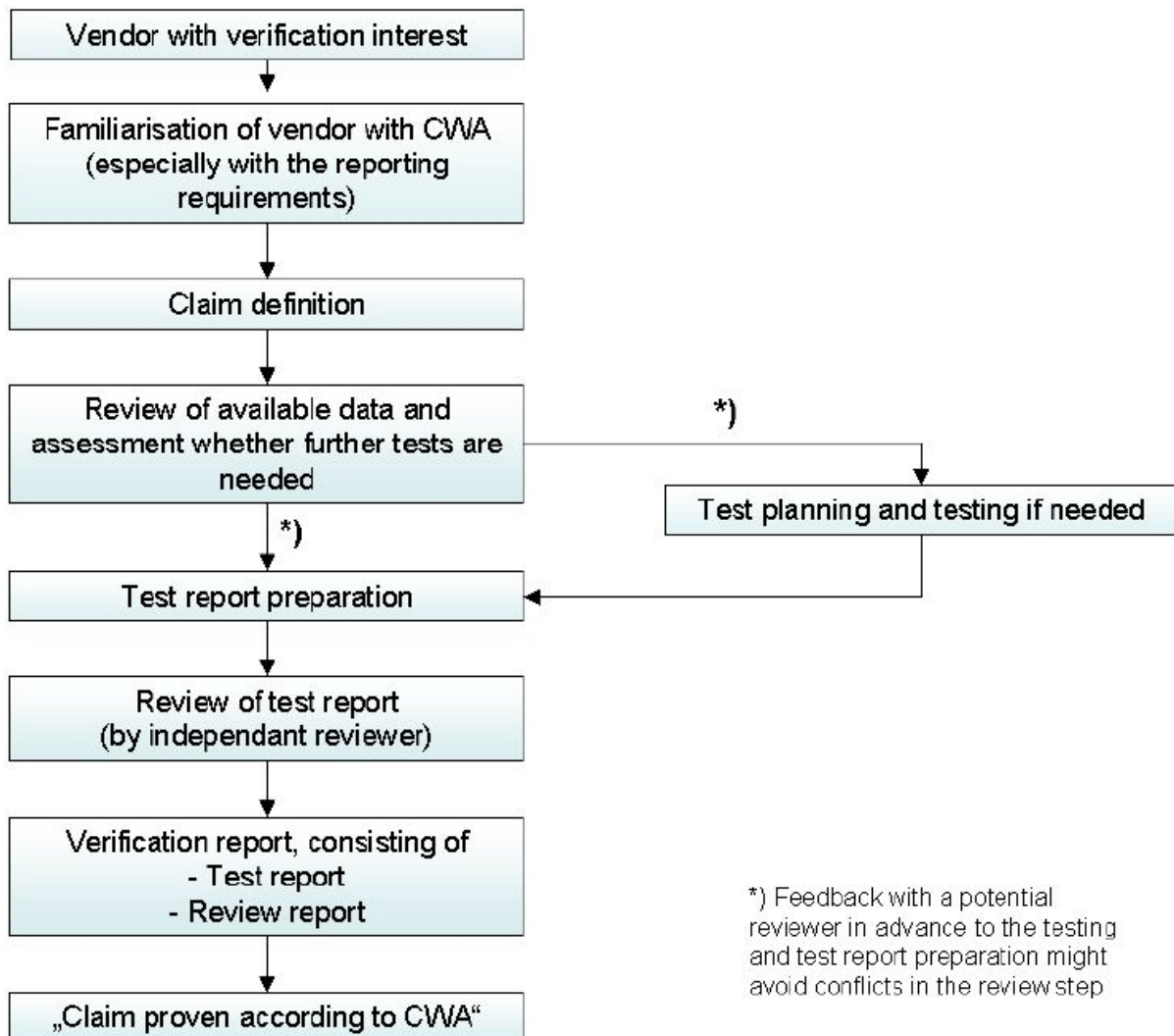
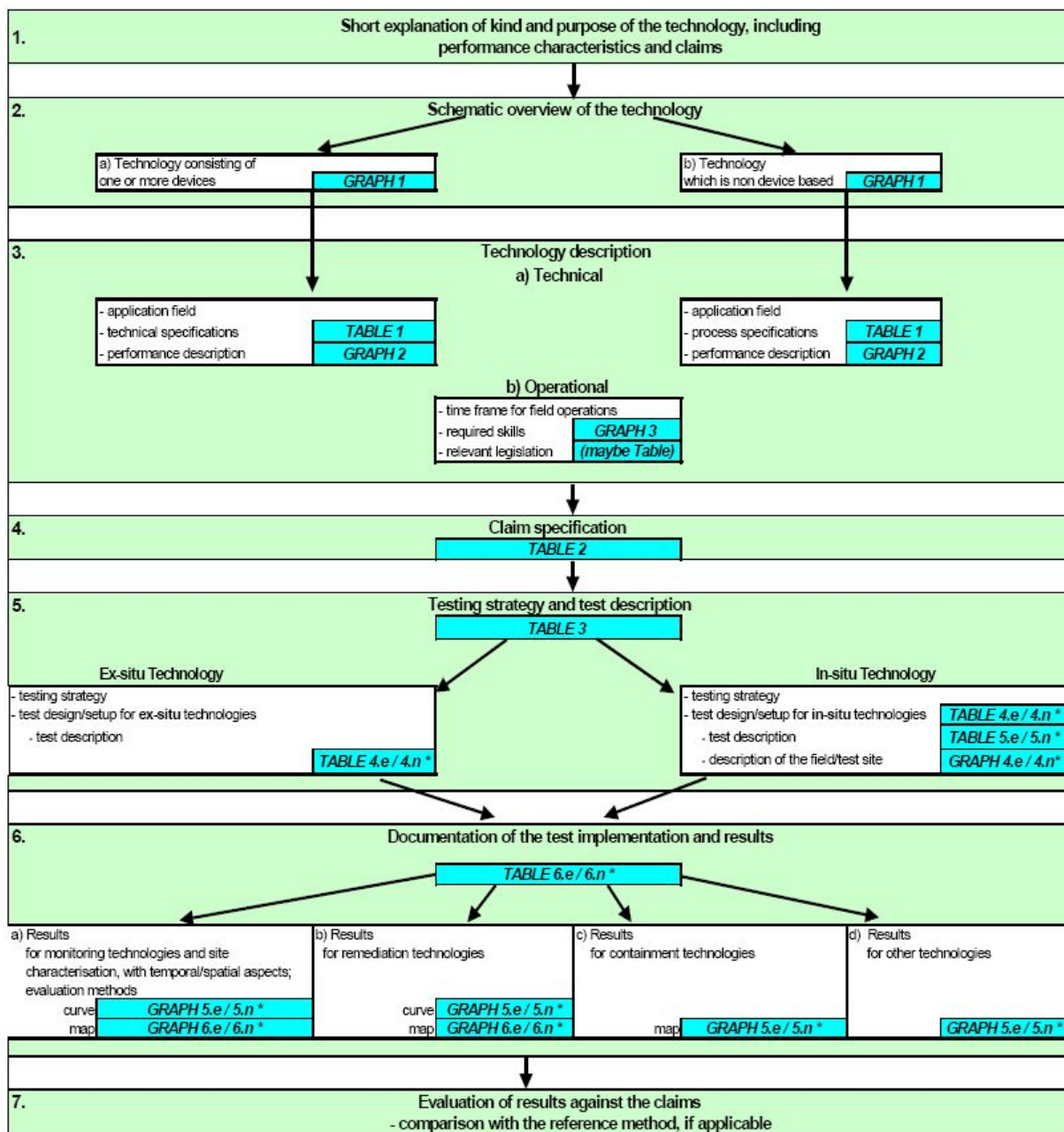


Abb. 5: Ablauf einer Verifizierung gemäß CWA 32



\* TABLES / GRAPHS related to existing (.e) and newly produced (.n) data

Abb. 6: Fallunterscheidungen im CWA 32

In dieser Vereinbarung, die nur einen Umfang von 17 Seiten hat, werden letztlich nur grobe Rahmenbedingungen und Mindestinhalte von Testberichten festgelegt, ohne weitere organisatorische Anforderungen. Der Vorteil dieser Regelung besteht darin, dass es möglich ist, trotz der Einhaltung aller Vorgaben aus diesem Workshop Agreement mit relativ geringem Aufwand gezielt Tests durchzuführen. Dies kann organisatorisch so weit reduziert werden, dass nur noch ein Testlabor von einem Auftraggeber mit der Durchführung von Tests beauftragt wird. Nach Prüfung der Testergebnisse durch einen oder mehrere neutrale Gutachter können die Daten später in das europäische ETV-System eingespeist werden, wodurch die Kosten für ein Verfahren wesent-

lich reduziert werden könnten. Eventuell wird es einem Hersteller einer neuen Technik sogar genügen, mit einem Testbericht nach CEN/WS 32 N 040 für sein Produkt zu werben.

### **3 Alternatives Verifizierungssystem**

#### **3.1 Zielstellung**

Angesichts der Vielzahl an Aktivitäten zur Etablierung von Verifizierungssystemen im europäischen und internationalen Rahmen stellt sich die Frage, wozu hier Anstrengungen unternommen werden, eigene Verifizierungsstrategien für den sehr speziellen Markt der Umweltmesstechnik im Altlastenbereich zu entwickeln. Die Antwort auf diese Frage liegt in einigen Besonderheiten, die dieser Markt bietet und die ihn von anderen Marktsegmenten unterscheidet:

- geringe Größe des Markts
- Messtechnik benötigt zugehörige Strategie und kann damit nicht isoliert bewertet werden
- Behörden müssen Untersuchungen akzeptieren

Diese Besonderheiten bedingen, dass Verifizierungen in diesem Segment nur dann sinnvoll sind, wenn die damit verbundenen Kosten für den Produzenten in einem vernünftigen Verhältnis zum potentiellen Absatz der Geräte stehen, der hier besonders gering ist. Kosten und auch die zu erwartende Dauer des Verfahrens wie sie in den derzeit diskutierten europäischen Ansätzen prognostiziert werden oder in den etablierten Systemen in Nordamerika anfallen, sind für viele Geräte in diesem Bereich wesentlich zu hoch. Dies bedeutet, dass hier nur Erfolge durch Verifizierungen zu erzielen sein werden, wenn die Verifizierungen weitgehend ohne teuren bürokratischen Rahmen ablaufen.

Gleichzeitig wird hier ein System benötigt, das aus Gründen der Akzeptanz eine wesentlich engere Einbindung der Behörden beinhaltet, als es das eher lockere und optionale "stakeholder involvement" der etablierten oder diskutierten Systeme realisiert.

Schließlich benötigt ein funktionierendes System in diesem Bereich eine enge Verzahnung von Funktionstests, die in der Regel unter gut kontrollierten Bedingungen im Labor durchgeführt werden müssen, und Demonstrationen im Feld, wo der erfolgreiche Einsatz unter späteren Realbedingungen unter Beweis gestellt wird.

Diese zum Teil widersprüchlichen Forderungen können nur mit einem sehr schlanken und effizienten Verifizierungssystem erreicht werden, das angesichts dieser Spezifika nicht allgemein anwendbar ist. Umgekehrt werden die bestehenden oder diskutierten Verifizierungssysteme sich nicht in diesem Markt durchsetzen, da die Produzenten angesichts des Verhältnisses von Kosten zu Nutzen kein Interesse daran haben werden.

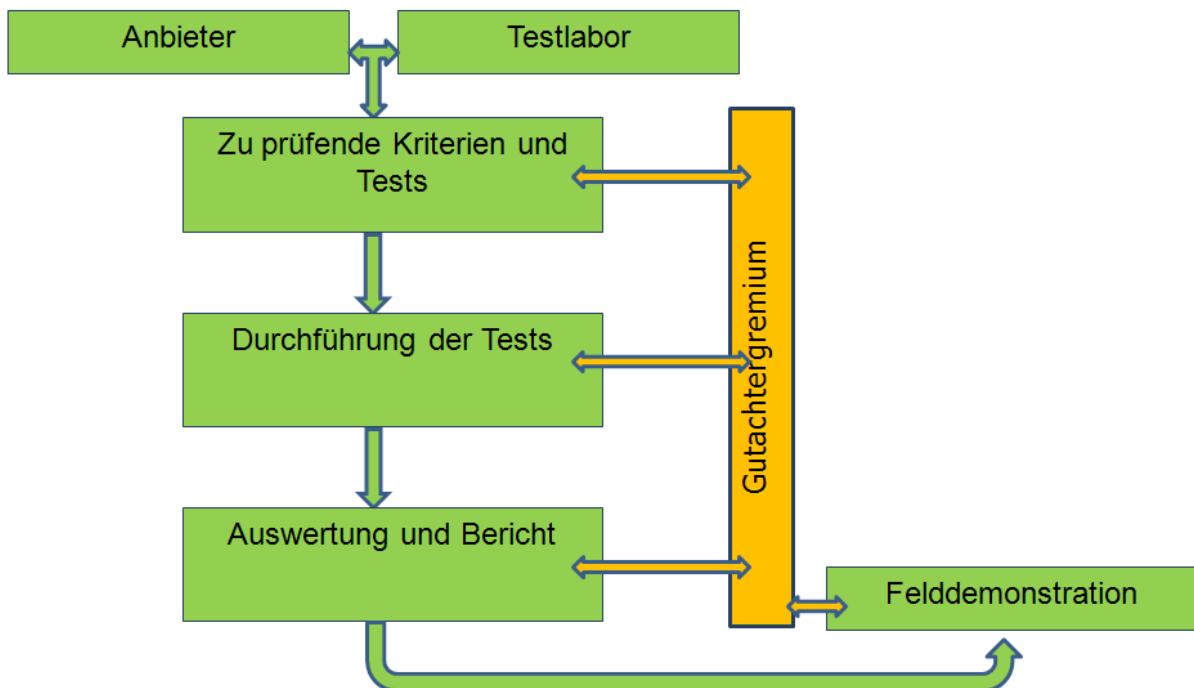
Ziel dieses Vorhabens war es demnach, die Grundzüge eines Verifizierungsschemas für diese speziellen Bedingungen zu entwickeln und zu testen. Dazu wurde das oben beschriebene Projektkonsortium zusammengestellt. Die Projektpartner wurden direkt in die Entwicklung von Verifizierungsansätzen sowie deren Test im Labor und Feld einbezogen, das Feedback der Behördenvertreter wurde in projektbegleitenden Gutachtersitzungen eingeholt und im weiteren Projekt umgesetzt.

## **3.2 Spezifisches Verifizierungssystem für Umweltmesstechnik**

### **3.2.1 Grundzüge**

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde versucht, die oben beschriebenen Probleme der Übertragung von Verifizierungssystemen auf den spezifischen Bereich der innovativen Messtechnik im Umwelt- und speziell im Altlastensektor zu berücksichtigen und einen Rahmen zu entwickeln, der auf der einen Seite kompatibel zu den bestehenden Systemen ist, aber deren Nachteile nicht besitzt. Wichtigste Gesichtspunkte waren dabei die Praxisnähe und die Schlankheit des Systems, um die damit verbundenen Kosten so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig galt es aber auch die Qualität der Daten so hoch wie möglich zu halten, damit die Glaubwürdigkeit des Systems gewahrt wird und der Nutzen für den Hersteller größtmöglich wird.

Der grundsätzliche Ablauf ist dem ähnlich, der auch im CEN Workshop Agreement vorgeschlagen wird (siehe Abbildung 7):



**Abb. 7:** Ablauf einer Verifizierung im hier vorgeschlagenen Verifizierungssystem

Zunächst beschränkt sich die Verifizierung auf Tests, die in Absprache zwischen dem Hersteller einer Technik und dem Testlabor vereinbart wurden. Wichtig dabei ist, dass bei der Festlegung von Testkriterien und Tests sowie der zugehörigen Toleranzen ein Einvernehmen zwischen Hersteller und Testlabor herrscht. Dem Testlabor fällt dabei die Aufgabe zu, die in der Regel weitgehenden Vorstellungen des Herstellers im Hinblick auf den finanziellen und zeitlichen Rahmen aber auch die Machbarkeit in Tests zu überprüfen und ggf. etwas zu dämpfen. Hier kommt insbesondere der Verfügbarkeit von Referenzmessungen und deren Messunsicherheit eine zentrale Bedeutung bei, ein Aspekt der im nächsten Abschnitt diskutiert wird. Gleichzeitig sollte das Testlabor bei der Festlegung von Tests die Praxisrelevanz für den späteren Einsatzzweck als wichtiges Kriterium beachten.

Um die Neutralität zu gewährleisten und so einer späteren Angreifbarkeit vorzubeugen aber auch, um die gerade erwähnte Praxisrelevanz sicherzustellen, sollte unbedingt schon im Vorfeld eine unabhängige Stelle eingeschaltet werden. Im vorliegenden Projekt hat sich dafür ein Gremium aus Behördenvertretern bewährt. Dies setzt allerdings ein erhebliches persönliches Engagement der Betroffenen und ein Wohlwollen der jeweiligen Behörden voraus (siehe Kapitel „Verifizierungssystem in der Praxis“, S. 28).

Eine unabhängige Stelle sollte auf jeden Fall bei der abschließenden Bewertung der Testresultate hinzugezogen werden, um der gesamten Verifizierung spätestens hier einen unparteiischen Charakter zu verleihen, auch und gerade im Sinne des Herstel-

lers.

Idealerweise wird an eine erfolgreiche Verifizierung unter Laborbedingungen eine Felddemonstration angeschlossen. Dies ist normalerweise eine äußerst kostspielige Angelegenheit, die in anderen Verifizierungssystemen zwar als sinnvoll erachtet wird, sich aber aus Kostengründen nur in Ausnahmefällen realisieren lassen wird. In einer Konstellation, in der über das Testlabor und die enge Verbindung zu Gutachtern aus Behörden ein direkter und unbürokratischer Zugriff auf laufende Feldaktivitäten möglich ist, könnte ohne zu großen Aufwand die Integration von innovativen Techniken gelingen. Hier könnten unter Umständen auch Referenzdaten herangezogen werden, die ohnehin im Rahmen der Erkundungs- oder Sanierungsarbeiten zu erheben sind. Eine solche Konstellation hätte den Vorteil, dass wenig zusätzlicher Aufwand für Rüstarbeiten, Sicherheitsvorkehrungen und sonstige Aktivitäten notwendig würde, der bei Feldtests grundsätzlich anfällt. Auf der anderen Seite hätten die Behörden und die Pflichtigen am Standort die Chance, zusätzliche Informationen durch die innovativen Techniken in das laufende Verfahren einzubeziehen. Für den Anbieter einer innovativen Technik würde die erfolgreiche Demonstration seiner Technik quasi unter den Augen der potentiellen Kunden und gleichzeitig der Behörden einen erheblichen Imagegewinn mit sich bringen und hätte einen verkaufsfördernden Effekt, der sonst nur mit erheblichen finanziellen Anstrengungen zu erreichen wäre. Gleichzeitig würden sich solche Demonstrationen günstig auf die Akzeptanz bei Behörden auswirken.

Dieser gesamte schlanke Ablauf eines Verifizierungsverfahrens ist nur möglich, wenn einerseits im Testlabor die nötige personelle und materielle Infrastruktur vorgehalten werden kann, mit der ohne großen Vorarbeiten und Entwicklungsarbeiten Testaufbauten realisiert werden können. Diese müssen einfache Funktionstests bis hin zu feldähnlichem Geräteinsatz beinhalten, wobei stets eine höchstmögliche Kontrolle aller relevanten Randbedingungen gegeben sein muss. Auch bei Erfüllung dieser besonderen Voraussetzungen kommt das Design von problemangepassten Testumgebungen und der genauen Testabläufe häufig einer Forschungsarbeit gleich, da bei innovativen Geräten fast nie auf verfügbare Standards zurückgegriffen werden kann. Dazu ist eine sehr enge Zusammenarbeit zwischen dem Auftraggeber für die Verifizierung, den involvierten Behördenvertretern sowie dem Testlabor notwendig, die zumindest zwischen den Behördenvertretern und dem Testlabor ein enges Vertrauensverhältnis erfordert, das wiederum ohne personelle Kontinuität nicht denkbar ist.

Eine Besonderheit des hier skizzierten Verifizierungsschemas ist die Ausrichtung auf eine schrittweise Herangehensweise, die je nach zu testender Technik von einfachen Funktionstests über Labortests im Technikumsmaßstab bis hin zu Feldtests reichen

kann. Die einzelnen Stufen unterscheiden sich im Hinblick auf Komplexität der Testumgebung und gleichzeitig dem Maß an Kontrolle und der Qualität der verfügbaren Referenzwerte. Je größer der Maßstab und je komplexer der Testaufbau desto geringer ist die Kontrolle und desto geringer wird in der Regel die Qualität der Referenzwerte. Dieser Umstand muss bei Planung berücksichtigt und auch mit dem Antragssteller kommuniziert werden, um spätere Enttäuschungen zu vermeiden.

### **3.2.2 Schwierigkeiten bei Verifizierungen**

#### **3.2.2.1 Festlegung von Herstelleransprüchen (“Claims”)**

Eine der größten Herausforderungen bei Verifizierungen ist die Festlegung von Herstelleransprüchen oder Claims. In der Regel hat ein Antragssteller sehr weitgehende Vorstellungen in dieser Hinsicht, da er viel Vertrauen in sein Produkt mitbringt. Aufgabe des Testlabors ist, zu erwartende Probleme sachlich zu kommunizieren und auf den Umstand hinzuweisen, dass die oft hohen Ansprüche an Referenzen gemessen werden müssen, die wie auch die Ergebnisse der zu prüfenden Technik gewissen Unsicherheiten unterliegt. Diese Diskussion muss gründlich geführt werden, da andernfalls Enttäuschungen beim Antragsteller aber auch beim Testlabor vorprogrammiert sind.

Ein wichtiger Grundsatz, der auch für alle anderen Verifizierungssystemen gilt, muss lauten: Es kann keine vergleichenden Verifizierungen geben, d.h. Anbieter A kann nicht den Anspruch formulieren, dass sein System besser ist als das System von Anbieter B. Dies würde u.U. neben anderen Schwierigkeiten zu rechtlichen Auseinandersetzungen führen.

Neben der Kommunikation zur Definition von Claims zwischen Testlabor und Antragsteller vor dem Hintergrund der Machbarkeit der Tests ist die Praxisrelevanz der Untersuchungen ein wichtiges Kriterium, das von Seiten des Testlabors aber auch der begleitenden Gutachter zu beachten ist. Dieser Punkt kann die Diskussion der Claims in zwei Richtungen beeinflussen: Zum einen kann der Antragsteller falsche Vorstellungen mitbringen, was die Bedingungen beim späteren Einsatz seiner Technik angeht. Zum anderen kann aber auch der Fall eintreten, dass bei der Vorstellung des innovativen Systems vom Testlabor oder den Gutachtern Einsatzmöglichkeiten für das System gesehen werden, die vom Entwickler nicht beabsichtigt waren.



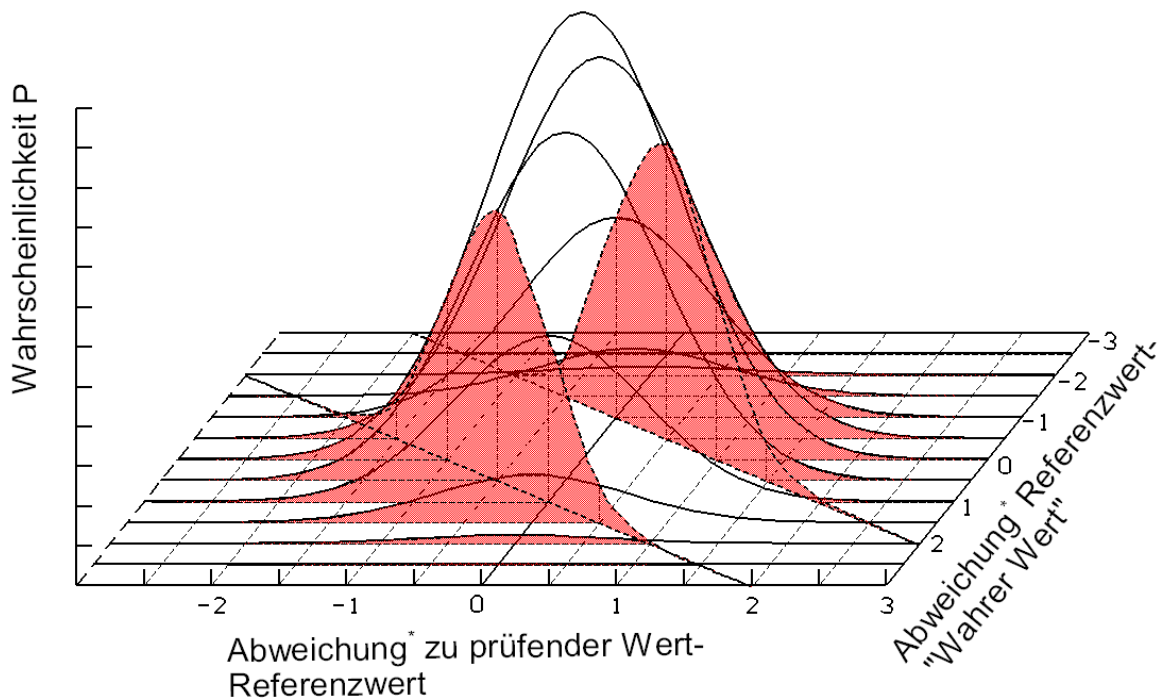
### 3.2.2.2 Referenzen und Toleranzen

Die Definition von Referenzen hängt eng mit der Definition von Claims zusammen, da Claims in aller Regel an Zahlenwerten festgemacht werden. Solche Zahlenwerte erfordern aber eine Referenz, an der sie gemessen werden können. Gerade bei neuen Techniken ist aber der Vergleich mit vorhandenen Standards häufig kritisch oder unmöglich. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sich die Messstrategien der zu verifizierenden Technik von denen der Standards unterscheiden. Für diese Fälle muss eine geeignete Alternative gefunden werden.

Zur Definition von Referenzen ist die Definition von zulässigen Abweichungen erforderlich. Hier kommt sofort das Problem auf, wie mit einem Nichterreichen der vorher festgelegten Toleranz umgegangen werden soll. Da die Toleranzen meist ohne physikalischen Hintergrund quasi freihändig gewählt werden, sollte im Vorfeld eine Vereinbarung getroffen werden, wie in diesem Fall vorgegangen wird. Für den Hersteller sollte eine Verifizierung dennoch positiv verlaufen sein, auch wenn nachher bescheinigt wird, dass sein Gerät ein Ziel mit einer Abweichung von 30% erreicht hat und nicht wie zuvor gehofft mit 20%. Die Vorgehensweise sollte aber transparent sein und nicht den Anschein einer Manipulation haben.

In diesem Zusammenhang soll mit einer einfachen statistischen Betrachtung die Problematik der Abweichungen von Messungen dargestellt werden: Angenommen, es sollen unabhängige, gaussverteilte Messwerte, die mit zwei verschiedenen Messverfahren gewonnen wurden, miteinander verglichen werden, wobei eine Toleranz von einer Standardabweichung nicht überschritten werden soll. Mit welcher Wahrscheinlichkeit wird dann eine Auffälligkeit (= höhere Abweichung) zu erwarten sein?

Abbildung 8 zeigt die zwei Gaussverteilungen in einer 3D-Grafik. Der schraffierte Raumanteil entspricht der Wahrscheinlichkeit, mit der sich die beiden Messwerte um mehr als eine Standardabweichung unterscheiden, wobei beide Messverfahren Ergebnisse liefern, die von einem prinzipiell immer unbekanntem, "Wahren Wert" abweichen. Tabelle 3 gibt die zugehörigen Zahlenwerte für verschiedene zulässige Abweichungen in Einheiten der Standardabweichung. Die Darstellung verdeutlicht eindrucksvoll, dass die Wahrscheinlichkeiten unerwartet hoch sind (fast 50% bei einer Toleranz von einer Standardabweichung) und von daher enge Grenzen bei solchen Vergleichen als äußerst kritisch zu sehen sind (Heitmann und Klaas, 2008).



**Abb. 8:** Graphische Darstellung der Wahrscheinlichkeit der Abweichung von zwei gaussverteilten Ergebnissen bei einer Toleranz von einer Standardabweichung

**Tabelle 3:** Statistische Abweichung von zwei gaussverteilten Ereignissen in Abhängigkeit der Toleranz

	zulässige Abweichung in Einheiten der Standardabweichung $\sigma$			
	0,5	1	2	3
Wahrscheinlichkeit der Abweichung [%]	62,4	48,9	15,7	3,4

Im Rahmen des Vorhabens wurden für Verifizierungen von innovativen Messgeräten im Altlastenbereich Größenordnungen, Zielgrößen und Toleranzen definiert, die in folgender Tabelle (Tabelle 4) zusammengestellt sind (Ruck, 2006). Die Werte sind nur beispielhaft zu verstehen und können je nach zu testendem System, verfügbaren Referenzen und der Stufe der Tests variiert werden - auch zu höheren Toleranzen hin. Bei der Festlegung von zulässigen Abweichungen sollte beachtet werden, dass Messwerte zumindest bei höheren zu erwartenden Abweichungen nicht normalverteilt sind. Hier könnte es zweckmäßig sein, Abweichungen nicht gemäß einer Normalverteilung (+/- X %), sondern gemäß einer Log-Normalverteilung (\*:/: Faktor Y) festzulegen.

**Tabelle 4:** Zielgrößen und Toleranzen

Zielgröße	Konzentrationsbereich	Anzahl Messungen	zul. Abweichung
Reproduzierbarkeit	“mittel”	30 (verteilt auf 3 Tage)	< 10%
Leerwert-Test	“Blank” mittlerer Bereich	je 10 mal abwechselnd	Stabw. < 50% Variation < 10%
Matrixeinfluss	mittlerer Bereich	10 Messungen	< Faktor 5
Messgenauigkeit	mittlerer Bereich	10 Messungen	< Faktor 1,3

Grundsätzlich muss bei der Festlegung von Toleranzen bei Felddemonstrationen die Heterogenität des Messobjekts berücksichtigt werden. Im Realfall kann sowohl der Untergrund als auch die Schadstoffverteilung eine extreme Heterogenität aufweisen, die dann die Unsicherheiten oder Abweichungen durch Geräteinflüsse bei weitem übersteigt. Dies ist der Grund, warum Feldtests in der Regel nur Demonstrationscharakter haben können (siehe Kapitel 3.2.2.5). Selbst bei Labortests sind die Referenzwerte mit Unsicherheiten behaftet, die quantifiziert werden müssen. Diese Unsicherheiten müssen dann bei der Festlegung von Toleranzen berücksichtigt werden.

### 3.2.2.3 Qualitätssicherung

Es scheint naheliegend, die Belange der Qualitätssicherung in ein externes System auszulagern und für Testlaboratorien generell eine Akkreditierung (z.B. gemäß ISO 17025) zu fordern. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass zur Verifizierung von innovativen Techniken häufig keine etablierten Testverfahren angewandt werden können, also auch keine Akkreditierung des Testlabors für das Testverfahren vorliegt. Außerdem wird bei einer grundsätzlichen Forderung nach einer Akkreditierung ein erheblicher Teil von möglichen Testlaboratorien (z.B. aus dem universitären Bereich) von der Durchführung von Verifizierungen ausgeschlossen.

Auf der anderen Seite ist die Einhaltung von bestimmten Qualitätsstandards zweifellos erforderlich. Sinnvoll wäre demnach von Testlabors zu fordern, eine Akkreditierung vorweisen zu können oder gleichwertige Qualitätssicherungsmaßnahmen einzuhalten. In jedem Fall sind diese Maßnahmen im Vorfeld der Tests zwischen Auftraggeber und

Labor zu vereinbaren. Da solche Maßnahmen in jedem Fall zusätzlichen Aufwand erfordern und damit Kosten verursachen, ist hierbei stets ein Kompromiss zu treffen zwischen Ansprüchen an eine möglichst hohe Qualität und den dadurch verursachten Kosten. Zudem wird die Qualität in den meisten Fällen durch viele Faktoren bestimmt, von denen nur ein Teil durch Akkreditierungen abgedeckt wird. Überzogene Anforderungen können sogar kontraproduktiv sein, da sie eine Sicherheit vortäuschen, die im Bereich der Vor-Ort-Messtechnik überhaupt nicht erreichbar ist (insbesondere wegen der Heterogenität des Untergrundes).

#### **3.2.2.4 Fehlschläge**

Tests im Rahmen von Verifizierungen können aus vielerlei Gründen nicht den erhofften Verlauf nehmen oder gänzlich scheitern. Sei es, dass die Technik nicht die versprochenen Eigenschaften erreicht oder dass das vorgesehene Prüfverfahren sich als nicht geeignet erweist. Weiterhin können auch äußere Einflüsse oder Fehler auf Seiten des Testlabors dafür verantwortlich sein, dass es zu Fehlschlägen kommt.

Diese sowohl für das Testlabor wie auch den Antragsteller unangenehme Situation sollte bei der Planung dergestalt berücksichtigt werden, dass sowohl im Zeitrahmen als auch im Budget eine Wiederholung der Tests, evtl. mit geänderten Bedingungen, vorgesehen wird.

Als eine Erfahrung des Forschungsprojekts hat sich gezeigt, dass es unter Umständen sinnvoll sein kann, Geräte zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess (z.B. im Stadium eines Prototypen oder Vorserienmodells) Tests zu unterwerfen, da so wertvolle Informationen für die Weiterentwicklung gewonnen werden können. Dieser Aspekt wird in den etablierten Verifizierungssystemen bewusst ausgeschlossen, da hier der Erwerb einer Logos im Vordergrund steht und das Risiko für den Entwickler in Anbetracht der Kosten zu hoch wäre.

#### **3.2.2.5 Verhältnis zwischen Tests im Labor und im Feld**

Das hier vorgeschlagene Verifizierungssystem sieht ein stufenweises Vorgehen bei der Verifizierung vor. Dabei nimmt die Komplexität der Tests vom prinzipiellen Funktionstest im Labor über komplexere, dem späteren Einsatz näherkommende Tests in einer Laborumgebung bis hin zu Tests unter realen Bedingungen im Feld zu. Im gleichen

Maß wie die Komplexität zunimmt, nimmt aber die Kontrolle und vor allem die Verlässlichkeit von Referenzwerten ab. Der Aspekt der Aussagekraft von Referenzwerten bringt insbesondere bei Feldanwendungen größte Probleme mit sich.

Auf der einen Seite wird vom Hersteller einer innovativen Technik sowie aus Sicht von Behörden und Anwendern ein berechtigtes Interesse bestehen, die Technik unter realen Bedingungen im Feld zu testen. Aus der anderen Seite muss das Testlabor aber auf die zu erwartenden Probleme deutlich hinweisen, die ein Fehlen von belastbaren Referenzwerten mit sich bringt. Im Feld lassen sich trotz größter Sorgfalt bei der Bestimmung von Referenzwerten Diskrepanzen zwischen diesen und den mit der zu testende Technik erstellten Werten nie zweifelsfrei einer Ursache zuordnen. Das heißt, dass das Nichterreichen eines gesteckten Ziels im Feld nicht unbedingt auf die unzureichende Leistungsfähigkeit der Technik zurückzuführen sein muss, sondern andere Gründe haben kann. Umgekehrt beweist aber auch eine Übereinstimmung nicht in jedem Fall die Funktionsfähigkeit der Technik.

Dazu kommt noch, dass Feldtests in der Regel sehr aufwendig und damit teuer sind. Es ist daher zwar wünschenswert, eine Technik unter realen (Feld)Bedingungen zu testen, aber dann nur im Rahmen einer qualitativen Demonstration von Aspekten wie Robustheit und Handhabung also der allgemeinen Feldtauglichkeit. Quantitative Tests zur Leistungsfähigkeit verlangen belastbare Referenzwerte und sollten daher unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden, was sich im Labor sehr viel besser realisieren lässt als im Feld.

Insbesondere von den Gutachtern, die das Projekt begleiteten, wurde angeregt, ein Hauptgewicht auf die Felddemonstrationen zu legen. Es wird auch von einem Verifizierungssystem erwartet werden, dass Tests möglichst werbewirksam durchgeführt werden, was am besten unter realen Bedingungen im Feld passiert. Die Entscheidung über die Leistungsfähigkeit von Techniken kann aber nur anhand von belastbaren quantitativen Messwerten erfolgen, zu denen ebenso belastbare Referenzen erforderlich sind. Letzteres ist in der Regel nur in Laborversuchen möglich.

Ein markantes Beispiel für den Zwiespalt, auf der einen Seite Tests möglichst realitätsnah im Feld durchführen zu wollen und auf der anderen Seite auch erhaltene Daten an harten Referenzen messen zu wollen, geben die Verifizierungsversuche des Probennahmesystems der Fa. Imw, Tübingen (siehe Kapitel 5.2.2). Hier scheiterte eine Verifizierung im Feld an den unsicheren Referenzwerten, die teilweise wegen der Heterogenität, andererseits wegen Problemen beim Probentransport bzw. der späteren Laboranalytik nicht brauchbar waren. Wegen der hohen Kosten schied eine Wiederho-

lung der Tests im Feld aus. Eine alternative Verifizierung im Labor wurde im VEGAS Großbehälter durchgeführt und war dort dank der guten Kontrollmöglichkeiten erfolgreich.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass bei allen Aspekten einer Verifizierung, die strenge Kontrolle erfordern, bei denen statistische Daten erhoben werden sollen (z.B. Wiederholungen), bei denen Parameter stark variiert werden müssen und bei denen der Einfluss spezifischer Parameter untersucht werden soll, eine Laboruntersuchung bevorzugt werden sollte. Für Aspekte wie die Handhabung unter Realbedingungen, der Einfluss von Umweltparametern sowie alle "publikumswirksamen" Demonstrationen sollten jedoch Tests im Feld vorgesehen werden.

### **3.2.3 Verifizierungssystem in der Praxis**

Es stellt sich nun die Frage, wie ein Verifizierungssystem für den speziellen Markt der innovativen Messtechniken im Umweltbereich unter Berücksichtigung der bestehenden oder in Entwicklung befindlichen Verifizierungssysteme aufgestellt werden könnte. Es gilt hier einerseits eine Kompatibilität zu den anderen Systemen herzustellen und andererseits eine geeignete Organisationsform zu finden.

Die Kompatibilität zu den anderen Systemen könnte über eine Anlehnung der Verifizierungen an das CEN Workshop Agreement erreicht werden. Auf diese Weise könnten Daten, die hier erstellt wurden, in ein künftiges EU-Verifizierungssystem eingespeist werden. Möchte ein Hersteller sich nach Tests im hier beschriebenen System später auch noch ein EU-Logo erwerben, kann er die Daten in das EU-System einbringen und damit den Verifizierungsaufwand und damit auch die Kosten erheblich verringern. Falls passend, können auch die Prüf-Protokolle, die im Rahmen der EU-Projekte erstellt wurden, zumindest in Auszügen verwendet werden, um die Einspeisung der Daten noch etwas zu erleichtern.

Als geeignete Organisationsform eines schlanken Verifizierungssystems könnte ein gemeinnütziger Verein dienen. In diesem Verein könnten Entwickler und Produzenten von Messtechnik, Behördenvertreter, Vertreter von Ingenieurbüros und Sanierungsfirmen sowie Wissenschaftler zusammenkommen. Die Mitglieder würden regelmäßig über neue Produkte und deren abschneiden informiert (nach Freigabe der Informationen durch den Hersteller des Produkts). Entwickler von Messtechnik hätten Zugang zu Beratungen in Bezug auf eine Verifizierung. Kosten würden dann nur für den tatsächlichen Aufwand im Rahmen der Verifizierung anfallen. Durch den engen Kontakt mit

Behörden, Ingenieurbüros und Sanierungsfirmen wäre auch der Zugang zu Feldaktivitäten gegeben, im Rahmen derer Felddemonstrationen stattfinden könnten.

Aus den Behördenvertretern könnten ein Gutachtergremium besetzt werden, das die Unabhängigkeit und Praxisrelevanz des Verifizierungssystems gewährleistet und Tests im Rahmen von Verifizierungen begleitet. Diese Aufgabe wäre allerdings zeitintensiv und würde eine Unterstützung durch die jeweilige Behörden voraussetzen. Das heißt, dass die Behördenvertreter für die gutachterliche Tätigkeit freigestellt werden müssten. Da dies eine Form von Wirtschaftsförderung darstellen würde, sollte dies aber möglich sein.

## **4 Geräte**

### **4.1 Übersicht**

Für die Tests im Rahmen der Entwicklung eines Verifizierungsschemas wurden verschiedenste Mess- und Probennahmegeräte eingesetzt, die bei der Altlastenbearbeitung genutzt werden können. Es wurde bewusst ein breites Spektrum an Systemen gewählt, um die Vorgehensweise für sehr verschiedene Techniken testen zu können. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Systeme und eine grobe Klassifizierung. Im folgenden Kapitel werden die Geräte kurz beschrieben.

**Tabelle 5:** Übersicht über die eingesetzten Geräte

Bezeichnung	Hersteller / Entwickler	Zweck	Status
MOX-System	VEGAS	Bodenluftmessungen zur Abgrenzung von Schadensherden	Prototyp
Thermoflow	Berghof/VEGAS	Bestimmung von Durchlässigkeitsprofilen in Grundwassermessstellen	Vorserienmodell
Faseroptisches Fluorometer	Hermes/VEGAS	Bestimmung von PAK-Konzentrationen in Grundwassermessstellen	kommerziell verfügbar
Mobiler GC-PID	meta (modifiziert von VEGAS)	Bestimmung von CKW, KW, BTXE in Bodenluft, Wasser und Boden	kommerziell verfügbar
M1, M2 GC-MS	Bruker	Bestimmung und Charakterisierung von CKW, KW, BTXE in Bodenluft, Wasser und Boden	kommerziell verfügbar
CKW-Probennehmer	VEGAS	druckhaltende Probenahme in Grundwassermessstellen	Prototyp
Multilevelmessstelle mit Minidruckpumpe	imw	spezielle minimalinvasive Probennahmetechnik	kommerziell verfügbar



## 4.2 Geräte im Einzelnen

### 4.2.1 MOX-Box VEGAS

Das System wurde zur schnellen Abgrenzung von Schadensherden bei Altlasten über Bodenluftmessungen entwickelt (Batereau, 2004). Die verwendeten Sensoren sind sehr kostengünstig (< 20 Euro pro Stück), aber auch weitgehend unspezifisch. Das Messsystem ist an ein Rammgestänge gekoppelt.

In dem von VEGAS aufgebauten, portablen Bodenluft-Messsystem werden vier Metalloxidsensoren unterschiedlicher Ansprechwahrscheinlichkeit für verschiedene Schadstoffgruppen als Detektionseinheit benutzt (siehe Tabelle 6) .

**Tabelle 6:** Einsatzgebiete und Arbeitsbereiche der verwendeten Metalloxidsensoren

Sensor-Nr. im Array	MOX 1	MOX 2	MOX 3	MOX 4
Stoffgruppe	Organische Lösemit- tel, z.B. Ethanol	Schwefelwas- serstoff	Brennbare Gase: Methan, Butan, Pro- pan	Methan
$R_s$ [k $\Omega$ ]	1 – 10	3 - 30	5 - 15	3 – 15
$G_s$ [mS]	1 – 0,1	0,33 – 0,033	0,2 – 0,066	0,33 – 0,066

$R_s$ : Widerstandssensor

$G_s$ : Leitfähigkeitssensor

Die Leitfähigkeit bzw. Leitwert  $G_s$  und der Sensorwiderstand  $R_s$  sind von der Konzentration  $C$  der im Messgas enthaltenen Analyte, der Art der Analyte sowie von den Materialeigenschaften des Halbleitermaterials abhängig und mit der Konzentration über einen nichtlinearen Zusammenhang verknüpft (Göpel et al., 1991):

$$G_s = A \cdot C^{x_i} + B \quad (\text{Gl. 1})$$

In Gleichung 1 steht  $C$  für die Analytkonzentration und  $x_i$  für einen Parameter, der im Größenbereich  $\{0 < x_i < 1\}$  liegt und wie die Faktoren  $A$  und  $B$  durch Kalibriermessungen bestimmt wird. Die Kalibrierkurve der Metalloxidsensoren wird nach unten und nach oben von den Materialeigenschaften des Metalloxides begrenzt. Während der Sensor im schadstofffreien Medium eine minimale Leitfähigkeit besitzt, da keine Ladungsträger freigesetzt werden, können bei Begasung mit oxidierbaren Substanzen Ladungsträger bis zu einem materialspezifischen Maximum freigesetzt werden.

Metalloxidsensoren (MOX) sind chemische Halbleiter-Gassensoren, deren sensitives Substrat aus halbleitenden Metalloxiden (z.B.  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ) besteht. Die Adsorption von Sauerstoff an der Sensoroberfläche bewirkt eine Verringerung der Elektronendichte im Leitungsband des Metalloxides und führt damit zur Erhöhung des elektrischen Widerstandes. Findet eine Exposition mit oxidierbaren Gasen statt, erfolgt eine anteilige Reduktion im Metalloxid, verbunden mit einer deutlich messbaren Änderung der Ladungsträgerdichte im Leitungsband und einer Anhebung der Leitfähigkeit.

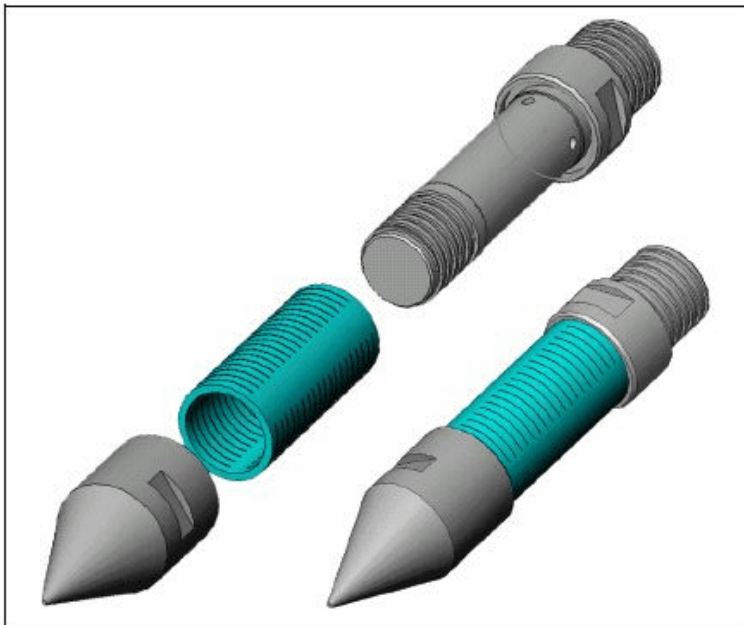
Die Sensorfunktion beruht also darauf, dass die an das Metalloxid angelagerten Schadstoffe mit dem Metalloxid in chemisch/physikalische Wechselwirkungen treten, durch die Ladungen erzeugt werden können. Die dabei ablaufenden Reaktionen finden an der Phasengrenze fest/gasförmig statt, wobei je nach vorliegenden Arbeitsbedingungen in Abhängigkeit von der stofflichen Natur der wechselwirkenden Gase, den speziellen Halbleitereigenschaften und der Arbeitstemperatur unterschiedlich starke Wechselwirkungen an der Oberfläche oder im Volumen des Halbleitermaterials auftreten können, die zu einer Änderung der Leitfähigkeit bzw. der beweglichen Ladungsträger im halbleitenden Material führen.

Die von der molaren Konzentration eines chemischen Stoffes abhängigen Leitfähigkeitsänderungen können bei halbleitenden Metalloxiden erhebliche Größenordnungen annehmen. Das Messsystem ist robust, aber nicht sehr empfindlich und spricht im Regelfall erst auf Einzelstoffkonzentrationen  $> 100 \text{ mg/m}^3$  an. Es entstehen bei ausgewählten Einzelstoffen typische Signalmuster. So sprechen MOX 3 und MOX 4 bei Gegenwart von LHKW (TCE und PCE) und MOX 1 auf Monoaromaten an. Die Sensoren besitzen einen großen dynamischen Bereich und können Schadstoffe daher über einen großen Konzentrationsbereich quantitativ erfassen. Die untere Erfassungsgrenze, hauptsächlich begrenzt durch das Sensormaterial, ist für jeden Sensor und jeden Analyten unterschiedlich. Sie liegen jeweils im Bereich der MAK-Werte bzw. um einen Faktor 10 bis 100 oberhalb der Orientierungswerte (Batereau, 2004).

Bei den durchgeführten tiefenorientierten Messungen wurde das Messsystem vom Sondiersystem abgekoppelt betrieben, um die mechanischen Belastungen zu minimieren. Die Bodenluft wurde über eine Teflonschlauchverbindung mit Absenkkegel entnommen. In Abbildung 10 ist die schematische Struktur der Sondierspitze dargestellt und Abbildung 9 zeigen die MOX-Box und ihren Einsatz auf einem Standort.



**Abb. 9:** Metalloxid-Sensorsystem VEGAS (links: Sensorkoffer, rechts: Feldeinsatz)



**Abb. 10:** Aufbau Sondenspitze

#### 4.2.2 Thermoflow-System

Bei der Probenahme aus einer Grundwassermessstelle setzt sich das geförderte Grundwasser stets aus dem Zustrom über die gesamte Filterstrecke zusammen.

Bei voll- oder mehrfach verfilterten Messstellen bedeutet dies, dass eine Mischprobe ohne detaillierte Kenntnis der Herkunft des geförderten Wasser erhalten wird. Durch unterschiedliche Durchlässigkeiten sowohl des Aquifers als auch der Verfilterung ist es durchaus möglich, dass ein Großteil der Probe nur aus einem schmalen Tiefenhorizont stammt.

Die beim Messstellenbau oftmals durchgeführte Untergrundansprache lässt nur bedingt Rückschlüsse auf die Wasserdurchlässigkeit verschiedener Schichten zu.

Hinzu kommt, dass im Falle der Erkundung von Schadstoffen im Grundwasser, diese bevorzugt in geringer durchlässigen Bereichen verbleiben, die bei einer Probenahme über eine größere Filterstrecke nur einen geringen Anteil des geförderten Wassers beisteuern.

Durch die genaue Kenntnis der vertikalen Verteilung des Zustromes in eine bepumpte Messstelle sowie der zugehörigen Analytkonzentrationen, kann eine Wasserprobe sehr viel besser gewichtet werden. Die Bestimmung der Durchlässigkeitsverteilung eines Aquifers wird klassisch mit einem Flowmeter durchgeführt. Bei Standardverfahren mit dem Propellerflowmeter wird die Umdrehungszahl eines Flügel-Impellers gemessen. Dieser wird in der Bohrung mit konstanter Geschwindigkeit entgegen dem durch eine Pumpe erzeugten Förderstrom bewegt oder in bestimmte Tiefen zur Ruhemessung abgelassen. Das Verfahren eignet sich aber nur für höhere Zuflussraten (ab 20 mm/s vertikale Strömung).

Bei weniger ergiebigen Messstellen können die dazu nötigen Pumpraten oft nicht realisiert werden. Um auch geringe Strömungen zuverlässig detektieren zu können, ist bei VEGAS am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart ein thermisches Flowmeter entwickelt worden, welches Wasserströmungen bis hinunter zu 1 mm/s messen kann.

Das System wird derzeit von der Fa. Berghof, Tübingen, als Lizenznehmer der Universität weiterentwickelt und zur Marktreife geführt.

Ziele:

- a. Messung kleinster Strömungen in Grundwassermessstellen
- b. Charakterisierung der Durchlässigkeit von Aquiferen
- c. Wichtung von tiefenorientiert gewonnenen Proben mit dem Zustrom

Messprinzip:

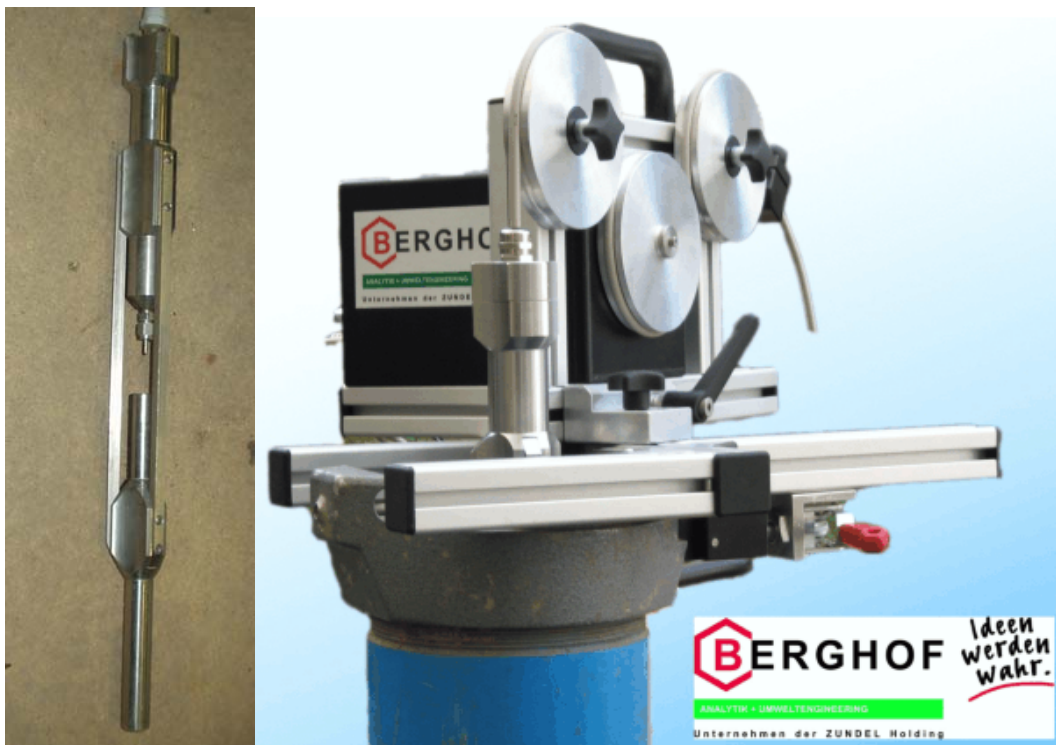
Die Messung basiert auf dem Prinzip der thermischen Anemometrie. Dabei kommt ein Sensor der Schweizer Firma "IST" zum Einsatz. Die verschiedenen Widerstände von Heizer und Messelement dieses Sensors führen in einer Brückenschaltung zu unterschiedlicher Erwärmung. Diese Erwärmung ist abhängig von der angelegten Spannung und der aktuellen Strömung des Mediums, in welchem sich der Sensor befindet. Durch eine geeignete Brückenschaltung kann diese sehr empfindlich ausgewertet werden. Die geringe Masse des Anemometers führt zu schnellen Reaktionszeiten und kurzen Aufwärmzeiten.

#### Aufbau:

Der Sensor ist in einen wasserfesten Messkörper eingebaut, der zugleich sämtliche Elektronik enthält, die sowohl zur Auswertung des Sensorsignals nötig ist, als auch eine digitale Datenerfassung und -übertragung ermöglicht. Die Empfindlichkeit des Sensors erlaubt die Messung von Strömungen weniger mm/s.

#### Messungen:

Das Thermoflow wird bei Berghof in zahlreichen Feldeinsätzen, sowie bei VEGAS sowohl in der Forschung als auch in der Lehre vorwiegend zur Charakterisierung von Grundwassermessstellen und zur korrekten Durchführung von zustromgewichteten Probenahmen verwendet. Hierbei wird mit einer Pumpe in der Messstelle eine Vertikalströmung erzeugt. Der tiefenbezogene Zustrom in den Brunnen kann dann mit dem Messgerät erfasst und - bei Kenntnis der Transmissivität des Brunnens - in die hydraulische Leitfähigkeit der jeweiligen Schicht umgerechnet werden.



**Abb. 11:** Thermoflow-System, Links: Sonde, rechts mit Winde auf Messstelle montiert

Das Gerät kann über eine grafische Benutzeroberfläche gesteuert werden, mit dem die Messfrequenz und damit die vertikale Auflösung in weiten Bereichen an die Applikation angepasst werden kann. Die Datenerfassung erfolgt digital, so dass die Messdaten zur späteren Analyse zur Verfügung stehen.

### 4.2.3 Faserfluorometer

Das Faserfluorometer wurde entwickelt, um schnell und kostengünstig PAK-Gehalte direkt in Grundwassermessstellen messen zu können. Es wird dabei auf die Unterscheidung der verschiedenen PAK verzichtet. Mit dem Gerät können in vollverfilterten Messstellen Tiefenprofile der Fluoreszenz aufgenommen werden, was mit konventionellen Techniken nur mit hohem Aufwand möglich ist.

Bestimmte Stoffklassen wie die PAK zeigen Fluoreszenzerscheinungen nach Anregung mit Licht im ultravioletten oder sichtbaren Bereich. Da das photometrische Messsystem keine Aufnahme von Spektren vornimmt, wird die Intensität der Fluoreszenz über einen Wellenlängenbereich von 300 - 400 nm integriert und damit ein gewichteter Summenparameter der PAK erfasst. Die vier wesentlichen Bestandteile eines Fluorometers sind die Lichtquelle zur Anregung (Deuterium-Lampe), die Monochromatoren (oder Filter) für die Selektion von Anregungs- und Emissionswellenlängen, die Messzelle und der Strahlungsempfänger (hier Photomultiplier) als Detektor (siehe Prinzipskizze Abbildung 12). Das an Grundwassermessstellen einsetzbare Faserfluorometer besitzt einen direkt in die Grundwassermessstelle eintauchenden Sondenkopf, der die Glasfasern für Emission und Detektion in eine optisch günstige winkelige Anordnung zueinander bringt. In der Abbildung 13 ist die verfügbare Anordnung abgebildet.

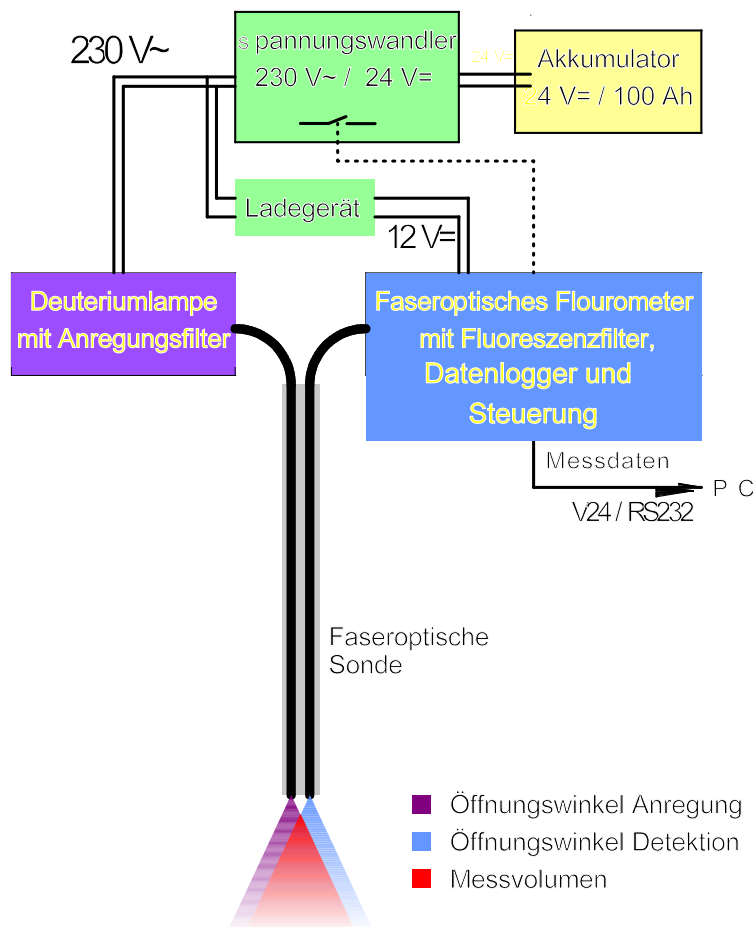


Abb. 12: Prinzipskizze faseroptisches Fluorometer



Abb. 13: Faseroptisches Fluorometer (links: Lampe und Detektor, rechts: Faserkopf)

Das Messsystem kann flexibel mit verschiedenen Fasern bestückt werden, die sich in Länge, Durchmesser, Konfektionierung des Sondenkopfes und Anzahl der Einzelfasern unterscheiden. Durch Verwendung verschiedener optischer Filter für die Anregung und Emission kann auch die Spezifität für bestimmte Substanzen angepasst

werden.

#### **4.2.4 Mobiler GC-PID**

Kernstück des mobilen GC-PID Systems ist ein isothermer Gaschromatograph der Firma meta, Dresden (Typ 3 HE II - PID). Dieser ist für die Online-Messung von gasförmigen Proben konzipiert, kann aber über einen Injektionsport auch mit Flüssigproben betrieben werden. Dieser Injektionsport wird in der vorliegenden Konfiguration genutzt, um einen Headspace-Autosampler (Modell: HP 7694) mit dem Gaschromatographen zu verbinden.

Mit dem System lassen sich dann sowohl gasförmige Proben, Wasserproben als auch Extrakte von Bodenproben messen. Für letztere werden die Extrakte in Headspace-Probengefäße gegeben und mit Wasser auf 10 ml aufgefüllt. Mit der Anordnung lassen sich Analyte bis zu einem Siedepunkt von etwa 200 °C bestimmen; durch Wahl des Temperaturbereichs können auch sehr leichtflüchtige Verbindungen analysiert werden (z.B. Vinylchlorid, Sdp.: -17 °C). Die Daten werden von einer Gerätesoftware mit einem Notebook aufgenommen und ausgewertet. Zum Betrieb ist eine Gasflasche mit Stickstoff oder synthetischer Luft notwendig.

Durch die Möglichkeit der Wahl einer problemangepassten Probenvorbereitung und Gerätemethode ist das System in der gezeigten Konfiguration äußerst flexibel einsetzbar und dennoch von den Kosten deutlich unter anderen vergleichbaren Gerätekombinationen. Es ist außerdem sehr robust, hat lange Wartungsintervalle und kann nach einem Transport zu einem Einsatzort in kurzer Zeit in Betrieb genommen werden. Durch die Verwendung einer kurzen gepackten Trennsäule ist die Trennleistung zwar relativ gering, aber dafür beträgt die Analysenzeit auch nur wenige Minuten, was gerade bei Feldanwendungen ein großer Vorteil sein kann. Bei Verwendung des Headspace-Samplers beträgt die typische Analysenzeit 10 Minuten.

Das System ist konzipiert für den Vor-Ort-Einsatz bei Standorten, bei denen die Art der Kontaminanten bekannt ist und eine schnelle Bestimmung von Konzentrationswerten oder -Profilen notwendig ist. Eine ideale Kombination bietet das Zusammenspiel mit dem CKW-Probennehmer, wodurch der Probentransport vermieden wird.





**Abb. 14:** GC-PID Messplatz mit Headspace-Autosampler (li) und Datenauswertung (re)

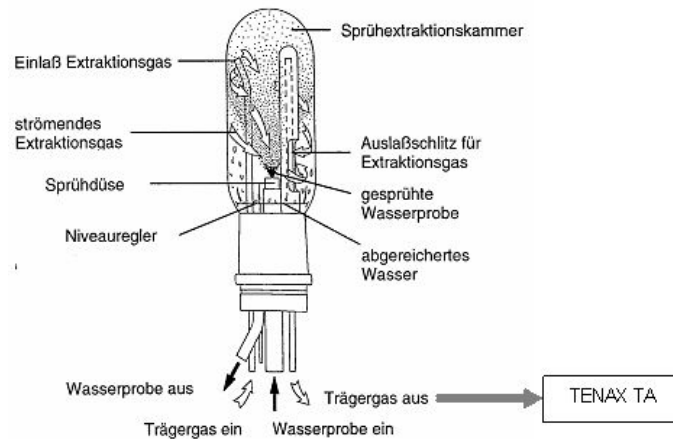
#### **4.2.5 Mobiler Massenspektrometer von Bruker Daltonik**

Bei diesem System handelt es sich um ein für die Kampfstoffdetektion im militärischen Bereich entwickeltes Massenspektrometersystem (MM2 von Bruker Daltonik mit Kurzsäulen-GC), das auch als Sensor für den Bodenluft- und den Wasserbereich verwendet werden kann und im Rahmen dieses Projektes auf die Eignung dieser Messtechnik im zivilen Bereich geprüft werden sollte.

Mit dem System können gasförmige Proben sowie Probenextrakte in organischen Lösemitteln gemessen werden.

Mittels entsprechender Sammeltechniken auf TENAX TA können VOC sowohl in Bodenluft als auch in Wasser nach Aufbereitung über Spray&Trap-Techniken angereichert und gemessen werden. Dabei wird Wasser in einer speziellen Apparatur (Schema Abb. 15) versprüht und die ausgetriebenen VOC aus der Dampfphase auf einen

Adsorber (TENAX TA) gesammelt. Die auf dem TENAX befindlichen VOC werden anschließend thermodesorbiert und in den GC injiziert. Das angekoppelte Massenspektrometer dient als Detektor.



**Abb. 15:** Prinzip der Spray&Trap-Technik

Der Zeitbedarf für die Aufbereitung einer Wasserprobe (150 ml) und Sammeln auf TENAX TA beträgt einschließlich Vor- und Nachspülen 4 min. In Abbildung 10 ist das Funktionsschema der Spray&Trap - Kammer dargestellt. Das mit den VOC beladene Trägergas ("Trägergas aus" in der Zeichnung) wird über das TENAX-Adsorptionsröhrchen geleitet. Dieses wird dann nachfolgend der Thermodesorption unterzogen.

Unter Verwendung einer mitgeführten Auswertesoftware und integrierter Datensicherungssysteme ist eine unmittelbare Vor-Ort-Auswertung während des GC-Laufes möglich.

Mit der Aufnahme des GC-Laufes werden gleichzeitig alle Hardwaremessbedingungen registriert und in einer Datei verriegelt mit den GC/MS-Daten, fälschungssicher abgelegt. Damit stehen alle Daten und Handlungen nachvollziehbar für weitere Auswertungen zur Verfügung. Das gilt sowohl für das Bruker-Massenspektrometer EM 640S und das am Standort eingesetzte Massenspektrometer MM2.

Während das EM 640S von seinen Kenndaten einem Massenspektrometer aus dem Laborbereich entspricht, ist das MM2 für den extremen Feldeinsatz primär zur Detektion chemischer Kampfstoffe ausgelegt. Das Massenspektrometer verfügt über einen Membraneinlass. Als Trägergas wird über Aktivkohle gereinigte Luft benutzt (saugender Betrieb über Membranpumpe). Wegen der geforderten Schnelligkeit arbeitet das Gerät mit einer 15 m - Dünnschichtsäule. Dadurch ist die chromatographische Peakauflö-

sung bei vielkomponentigen Leichtflüchtern schlecht und die niedrig siedenden Leichtflüchter erscheinen nur am Anfang des Chromatogramms als nicht aufgelöster Summenpeak. Das Muster des Totalionenstromchromatogramms und die entsprechenden Peakhöhen sind allerdings eine einfache Möglichkeit, schnell aus dem GC-Lauf standortspezifische Veränderungen zu erfassen bzw. über stoffspezifische Massen Identifizierungen vorzunehmen.

Durch Verwendung entsprechender Dickfilmsäulen lässt sich sicher eine Verbesserung in der stofflichen Auflösung erreichen. Der GC ist modular an das MM2 angekoppelt und kann mit wenigen Handgriffen gegen anders bestückte GC oder sonstige Peripherie ausgetauscht werden. Der Membraneinlass gestattet einen Direkteinlass von Bodenluft in das Massenspektrometer. Unter Vorgabe ausgewählter Massen ist eine schnelle zeitliche Überwachung der Bodenluft möglich.

Der komplette Messplatz ist im Kofferraum eines KFZ platziert, wodurch eine hohe Flexibilität erreicht werden kann (siehe Abbildung 16).

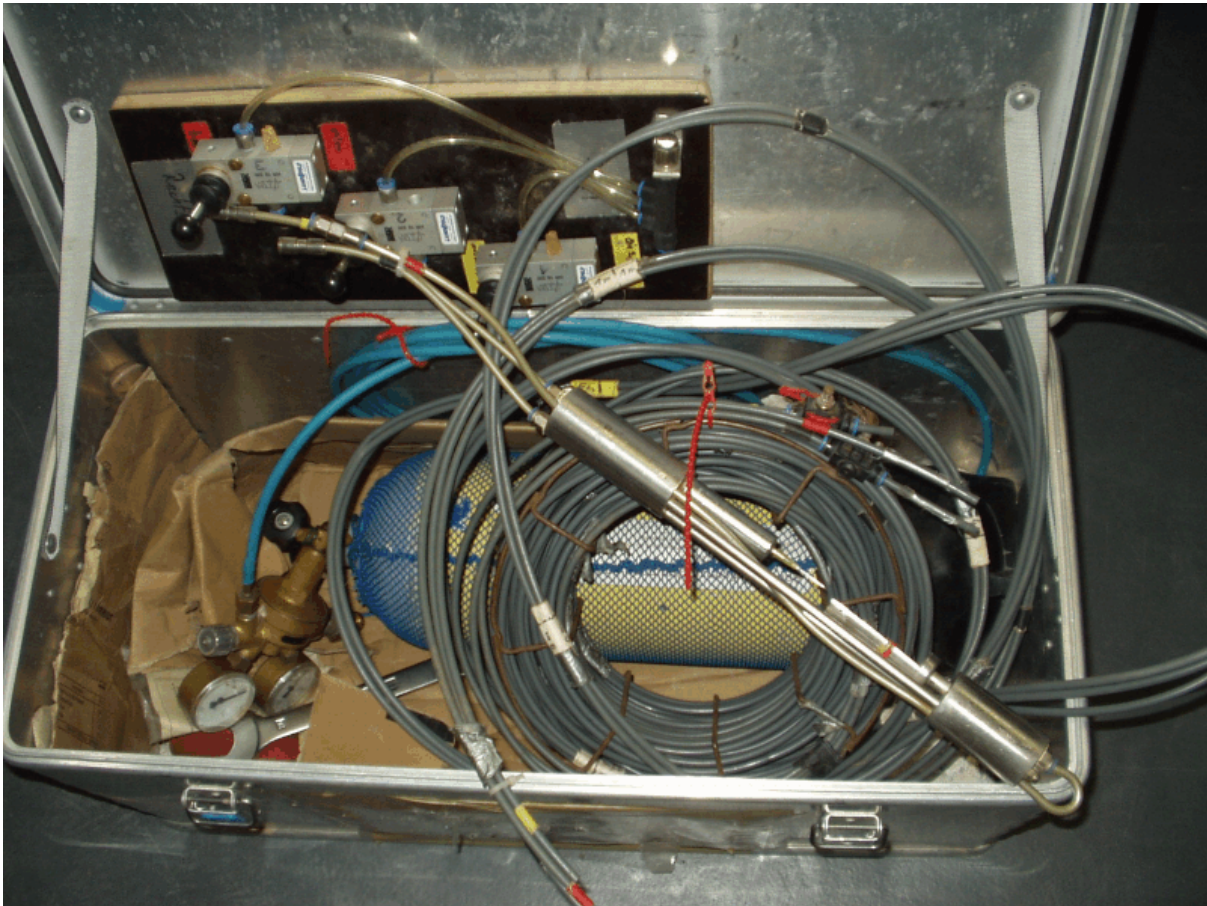
Die Stärken dieses Systems liegen in der Erkundung von Standorten mit unbekanntem oder komplexen Schadstoffsituationen oder auch bei Standorten, bei denen verschiedene Schadstoffsituationen auf engem Raum zusammenkommen. Der Vorteil des Systems ist es, Daten mit annähernd Laborqualität im Feld erzeugen zu können.



**Abb. 16:** Messplatz des mobilen GC-MS Systems

#### 4.2.6 CKW-Probennehmer

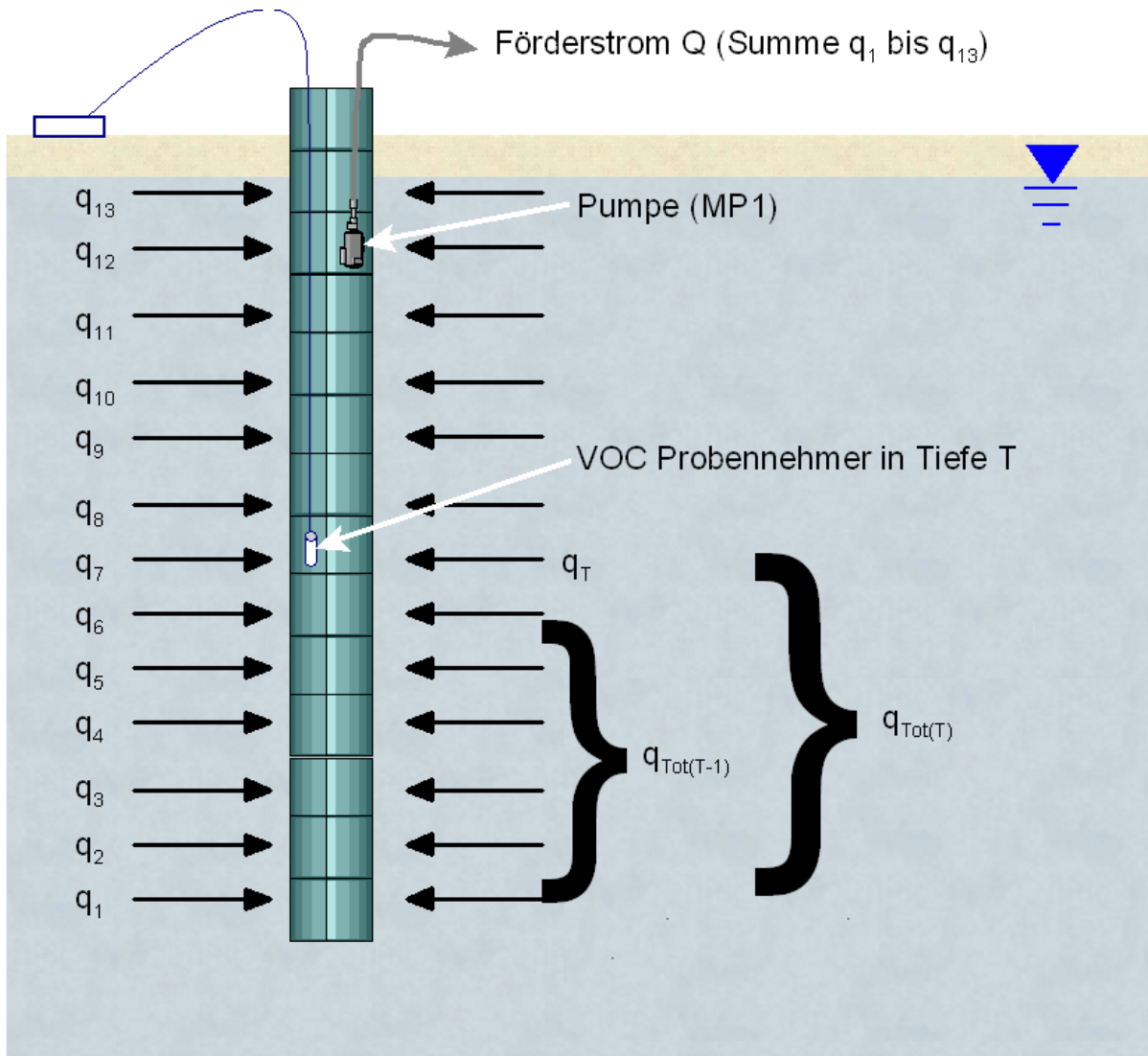
Dieses als druckhaltendes Probennahmesystem für die Entnahme von Wasserproben aus Grundwassermessstellen konzipierte Gerät ist in der Lage, Grundwasser aus definierten Tiefen direkt in Headspace-Gläschen abzufüllen. Das Gerät wird mit Druckluft pneumatisch betrieben und ist zusammen mit einer Druckluftflasche in einer Aluminiumkiste untergebracht und damit auch im Feld leicht zu bewegen. Auf diese Weise kommt das System ohne weitere Anschlüsse aus, was den schnellen und unkomplizierten Feldeinsatz begünstigt. Die entnommenen Proben können ohne weitere Probenvorbereitung in laborüblichen Gaschromatographen gemessen werden. Die Bestimmung sollte dabei so schnell wie möglich erfolgen, da durch die Art der Probennahme das Septum im Deckel des Probengefäßes mit einer Kanüle durchstochen ist und damit Verluste an Analyten auftreten können.



**Abb. 17:** VEGAS-Probennahmesystem mit Druckluftflasche, Bedienelement und Probennehmer

Das System kann direkt in Grundwassermessstellen eingesetzt werden, wobei eine Störung der Schichtung durch das Abtauchen des Probennehmers nicht ausgeschlossen werden kann. Alternativ können die Proben aus verschiedenen Tiefen entnommen werden, während mit einer Pumpe, die knapp unter der Wasseroberfläche oder ganz unten in der Messstelle installiert ist, Wasser abgepumpt wird. In diesem Fall müssen die Konzentrationen der einzelnen Tiefenbereiche rechnerisch ermittelt werden. Dazu muss allerdings das Tiefenprofil der hydraulischen Durchlässigkeit der Messstelle bekannt sein. Diese kann z.B. mit dem Thermoflow-System (siehe Kapitel 4.2.2) ermittelt werden.

Ist das Konzentrationsprofil und die Durchlässigkeitsverteilung der Messstelle bekannt, können durch Anwendung der Mischungsregel die Einzelkonzentrationen der Tiefenbereiche errechnet werden. Abbildung 18 zeigt das Prinzip der Probennahme sowie der Berechnung der Einzelkonzentrationen.



**Abb. 18:** Prinzip der Probennahme mit dem CKW-Probennehmer in Zusammenspiel mit einer Tauchpumpe und der Anwendung der Mischungsregel

$$C_{M(T)} = C_T \cdot \frac{q_T}{q_{Tot_T}} + C_{M(T-1)} \cdot \frac{q_{Tot_{T-1}}}{q_{Tot_T}} \quad (2)$$

Mit:

- $C_{M(T)}$  - Konzentration der Mischung (in Tiefe T) = Messwert
- $C_T$  - Konzentration des Grundwasserbereichs in Tiefe T
- $C_{M(T-1)}$  - (Misch-)Konzentration in nächstliegender pumpenferner Tiefenlage
- $q_T$  - Zufluss in Schicht T
- $q_{Tot(T)}$  - Gesamtzufluss bis Schicht T (von Pumpe abgewandt)
- $q_{Tot(T-1)}$  - Gesamtzufluss bis Schicht T-1 (von Pumpe abgewandt)

Umgeformt und aufgelöst nach  $C_T$  ergibt sich:

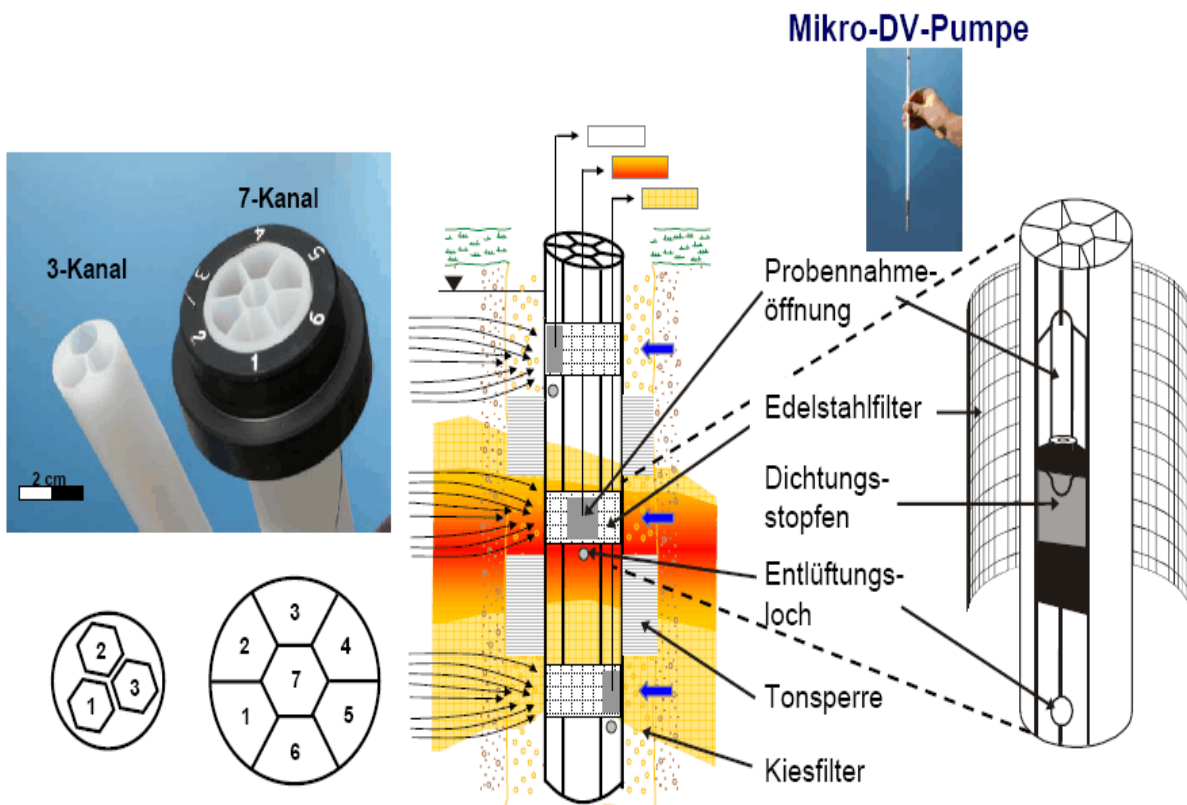
$$C_T = C_{M(T)} \cdot \frac{q_{Tot_T}}{q_T} - C_{M(T-1)} \cdot \frac{q_{Tot_{T-1}}}{q_T} \quad (3)$$

Durch Kombination des Probennehmers mit dem Thermoflow-System ist es also möglich, aus vollverfilterten Messstellen Tiefenprofile der Konzentration zu gewinnen. Dies ist sonst nur mit sehr hohem Aufwand unter Verwendung von Mehrfachpackersystemen und Schutzbeprobung möglich und dann auch nur bei Kenntnis der Durchlässigkeitsverteilung. Als zusätzlicher Vorteil können mit dem System Verluste vermindert werden, die sich bei konventionellen Pumpprobennahmen insbesondere bei sehr leichtflüchtigen Stoffen nicht vermeiden lassen.

#### 4.2.7 Multilevelmessstelle mit Minidruckpumpe (CMT-Messstelle)

Beim CMT Multilevel-System handelt es sich um ein flexibles, durchgehend drei- oder siebenkanaliges Röhrensystem, das vor dem Einbau direkt im Feld komplett mit Probennahmefiltern, Messstellenkopf, Abstandshaltern etc. hergestellt wird. Der Einbau kann durch Direct-Push- oder herkömmliche Bohrverfahren erfolgen. Mit dem CMT Multilevel System können der Grundwasserspiegel festgestellt sowie drei bzw. sieben verschiedene Tiefenbereiche wiederholt beprobt werden.

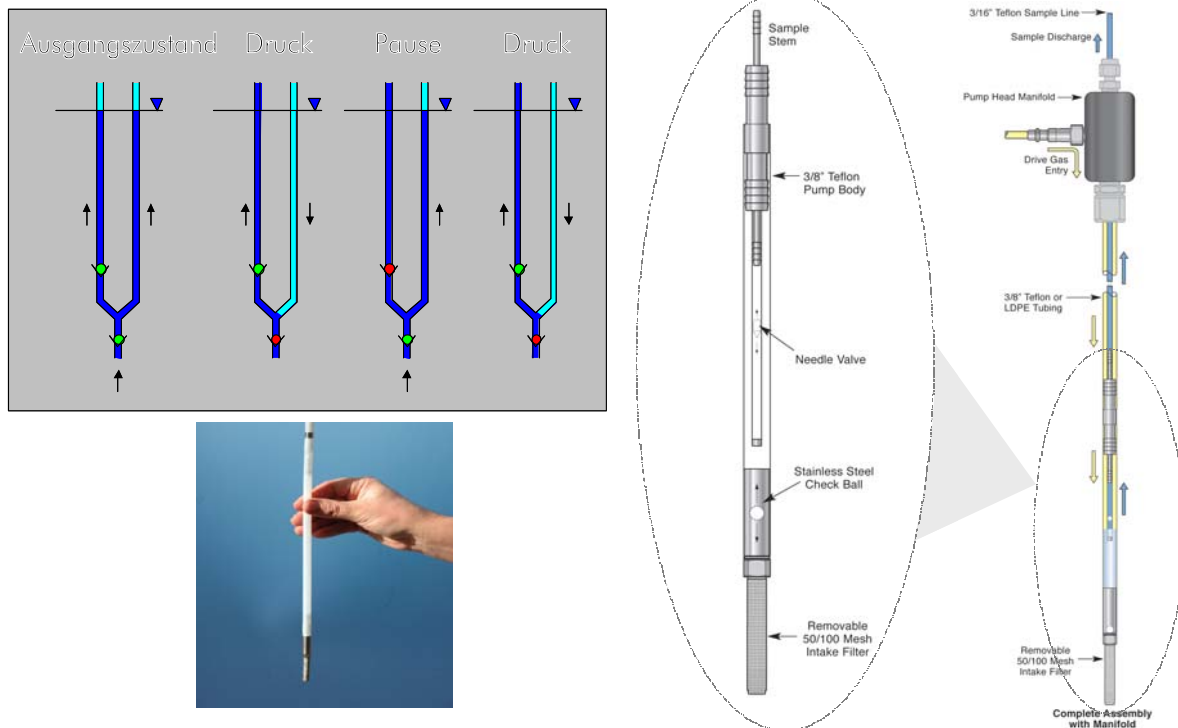
Das Mehrkanal CMT System ist aus parallel zueinander verlaufenden, voneinander getrennten Röhren aufgebaut. Die Filterstrecken werden durch von außen gebohrte Probennahmeöffnungen hergestellt. Der jeweilige Kanal wird dann mit einem Verschlussstopfen nach unten abgedichtet. Unter der Abdichtung wird eine Entlüftungsbohrung gesetzt, damit beim Einbau die eingeschlossene Luft entweichen kann. Die Probennahmeöffnungen werden mit Edelstahlsiebfiltern umschlossen. Prinzipiell können mit dem System beliebige Tiefenbereiche horizontiert beprobt werden; das HDPE-Röhrensystem kann auf Rollen bis zu 150 m bezogen werden (siehe Abbildung 19).



**Abb. 19:** CMT Multilevelmessstellen

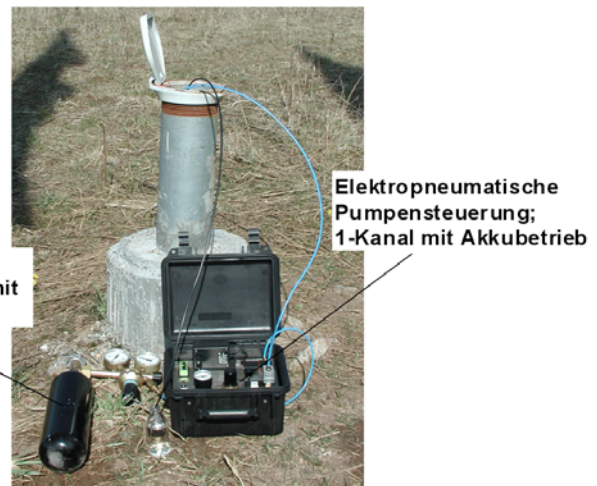
Beim CMT System können herkömmliche Pumpen aufgrund ihrer großen Durchmesser nicht in die Probennahmekanäle (D: 10mm) eingebaut werden. Grundwasser kann bei geringen Grundwasserflurabständen von kleiner 7m und geeigneten zu untersuchenden Parametern mit einer Peristaltikpumpe oder anderen Unterdruckpumpen entnommen werden. Für eine repräsentative "sanfte" Grundwasserprobennahme vor allem leichtflüchtiger Schadstoffe kann eine pneumatisch betriebene Mikro-Doppelventilpumpe eingesetzt werden (siehe Abbildung 20).





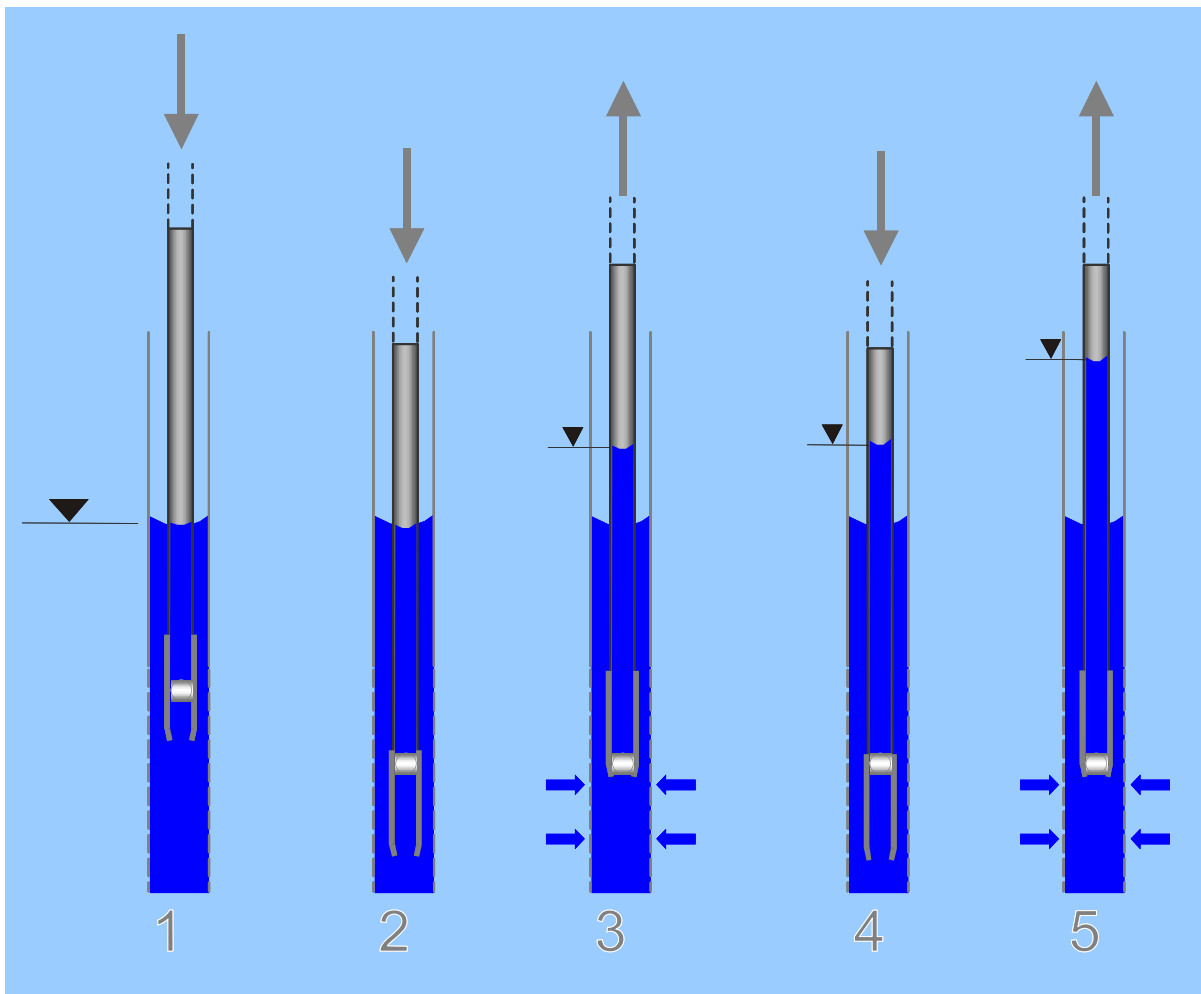
**Abb. 20:** Funktionsprinzip der Doppelventilpumpe (schematisch): Wasserrförderung durch Wechsel von Druckbeaufschlagung und Druckpause

Die elektropneumatische Steuerung ist mit Drehreglern für die Druckhöhe sowie die Zeiten der Druckbeaufschlagung und Druckpause ausgestattet mit denen sich stufenlos die Förderraten von 50 bis 250 ml/min einstellen lassen. Die Steuerung wird mit aufladbarem Akku oder Batterien betrieben, ist in einem robusten Geländekoffer untergebracht und eingeschränkt spritzwasser-



**Abb. 21:** Probennahme mit Doppelventilpumpe

geeignet. Druck-Schnellkupplungen erlauben die einfache und schnelle Verbindung zu Pumpe und Druckflasche. Zur Gasdruckversorgung der pneumatischen Pumpensteuerung wird in der Praxis eine Gasdruckflasche mit Stickstoff eingesetzt (siehe Abbildung 21).



**Abb. 22:** Prinzip Fußventilpumpe

Vor der eigentlichen Grundwasserprobennahme sollte das Wasser im Probenahme-kanal des CMT-Systems und dem Kiesfilter des Brunnens 2mal bis 3mal durch "frisches" Grundwasser aus dem anstehenden Aquifer ausgetauscht werden. Dieser Austausch kann am effektivsten und schnellsten mittels einer Fußventilpumpe mit PTFE-Pumpschlauch 6mm x 4mm erfolgen. Die Fußventilpumpe wird durch die einfache Auf- und Abbewegung des Pumpschlauchs betätigt. Das Pumpensystem besteht aus einem Pumpschlauch mit einem Rückschlag-Kugelventil am unteren Ende. Zur Probenentnahme wird der Pumpschlauch mit dem Fußventil bis auf die gewünschte Tiefe herabgelassen und - manuell oder maschinell - auf und ab bewegt. Das Rückschlag-Ventil erlaubt das Eindringen von Wasser in der Abwärtsbewegung (1) und verhindert das Ausfließen während der Aufwärtsbewegung (3). Bei der erneuten Abwärtsbewegung (4) wird auf Grund der Trägheit des Wassers eine sukzessive Förderung als zusammenhängende Wassersäule bis an die Oberfläche möglich (5) (siehe Prinzipskizze Abbildung 22).

## 5 Felddemonstrationen

### 5.1 Übersicht

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Feldeinsätze, die im Rahmen des Projekts zusammen mit den verschiedenen Projektpartnern durchgeführt wurde und beschreibt die wesentlichen Rahmenbedingungen, die jeweils gegeben waren. An einem Teil der Standorte wurden mehrere Kampagnen durchgeführt, da entweder neue Untersuchungsziele verfolgt werden sollten oder Fragen offengeblieben waren.

**Tabelle 7:** Übersicht über die Feldaktivitäten im Projekt

Datum	Standort	Beteiligte	Zielgröße(n)	Kompartimente	Probenahme	Geräte/Methoden
05.- 09.09.2005; 05.12.2005; 23.1.2006	Frankfurt	VEGAS, Bruker Daltonik, Dr. Flachowsky	MKW / BTEX, CKW, PAK	Bodenluft, Boden, Grundwasser	Tenax-Röhrchen, Schöpf-und Pumpproben, RKS, RS	Bruker GC-MS EM 640 S; MOX
30.09.- 05.10.2007	Bydgoszcz, Polen	VEGAS, PROMOTE Konsortium	PAK, BTEX	Bodenluft, Grundwasser	RS, Pumpproben, Probennehmer, ThermoFlow	ThermoFlow, GC-PID, MOX, PAK-Fluorometer
07.- 10.04.2008; 27.- 29.07.2008	Hamburg	VEGAS, Dr. Baermann &Partner, Dr. Flachowsky	CKW, Ethen	Grundwasser	Probennehmer	HS-GC-PID, ThermoFlow
10.- 11.04.2008;	Kiel	VEGAS, Dr. Baermann &Partner, Dr. Flachowsky		Boden (NAPL)		NAPL-Sensor
05.- 08.11.2007	Hockenheim	VEGAS, Fa. Arcadis	CKW, Kf	Grundwasser	Pumpproben aus temp. GWMS	
16.- 17.10.2007	Bitterfeld	VEGAS, Dr. Flachowsky, Bruker Daltonik	CKW, BTEX	Grundwasser	Pumpproben	
7.–11.11.2005	Mainz	VEGAS, Dr. Flachowsky, Bruker Daltonik, TU Hamburg-Harburg	CKW, BTEX	Bodenluft, Grundwasser		EM 640S, MM2, MOX, Ramm-GC

Im Folgenden sind die einzelnen Messeinsätze beschrieben, wobei versucht wurde die Beschreibungen auf das Wesentliche zu konzentrieren, um den Umfang des Berichts

nicht zu sprengen.

## **5.2 Beschreibung der Felddemonstrationen**

### **5.2.1 Standort in Frankfurt**

#### **Ziel**

Am Standort liegen Grundwasserkontaminationen mit Kohlenwasserstoffen (hauptsächlich BTXE-Aromaten) und an einigen Stellen mit CKW vor. Ziel der Feldaktion war es an diesem Standort das Faserfluorometer von VEGAS, der Ramm-GC der Universität Hamburg-Harburg sowie das GC-MS Gerät EM 640 der Firma Bruker Daltonik einzusetzen und im Hinblick auf die Anwendbarkeit der Techniken bei einem Realstandort unter Beweis zu stellen. Gleichzeitig sollte mittels der Vor-Ort Messungen der Schaden verifiziert und nach Möglichkeit weiter eingegrenzt werden. Durch Vergleich mit Referenzproben, die mittels Laboranalytik gemessen wurden, sollte die Qualität der Vor-Ort Systeme beurteilt werden.

#### **Standortbeschreibung**

Beim Standort handelt es sich um eine überbaute Fläche eines Gewerbegebietes mit zahlreichen Lagerhallen, Büros und Werkstätten. Die freistehenden Flächen sind zum größten Teil betoniert. In diesem Bereich sind eine Tankstelle und deren Lagertanks rückgebaut und verfüllt worden. Dabei ist es zu Kontaminationen mit Vergaserkraftstoffen gekommen. Vorlaufende Sondierungen mit Ausbauten temporärer Grundwassermessstellen waren im Bereich der Grünstreifen auf dem Gelände vorgenommen worden (siehe Abbildung 23). Für vergleichende Untersuchungen standen neben zwei konventionell ausgebauten Grundwassermessstellen deshalb acht temporäre Messstellen zur Verfügung. Aus den vorlaufenden Messungen war bekannt, dass extreme Konzentrationsgefälle an BETX-Aromaten vorlagen.

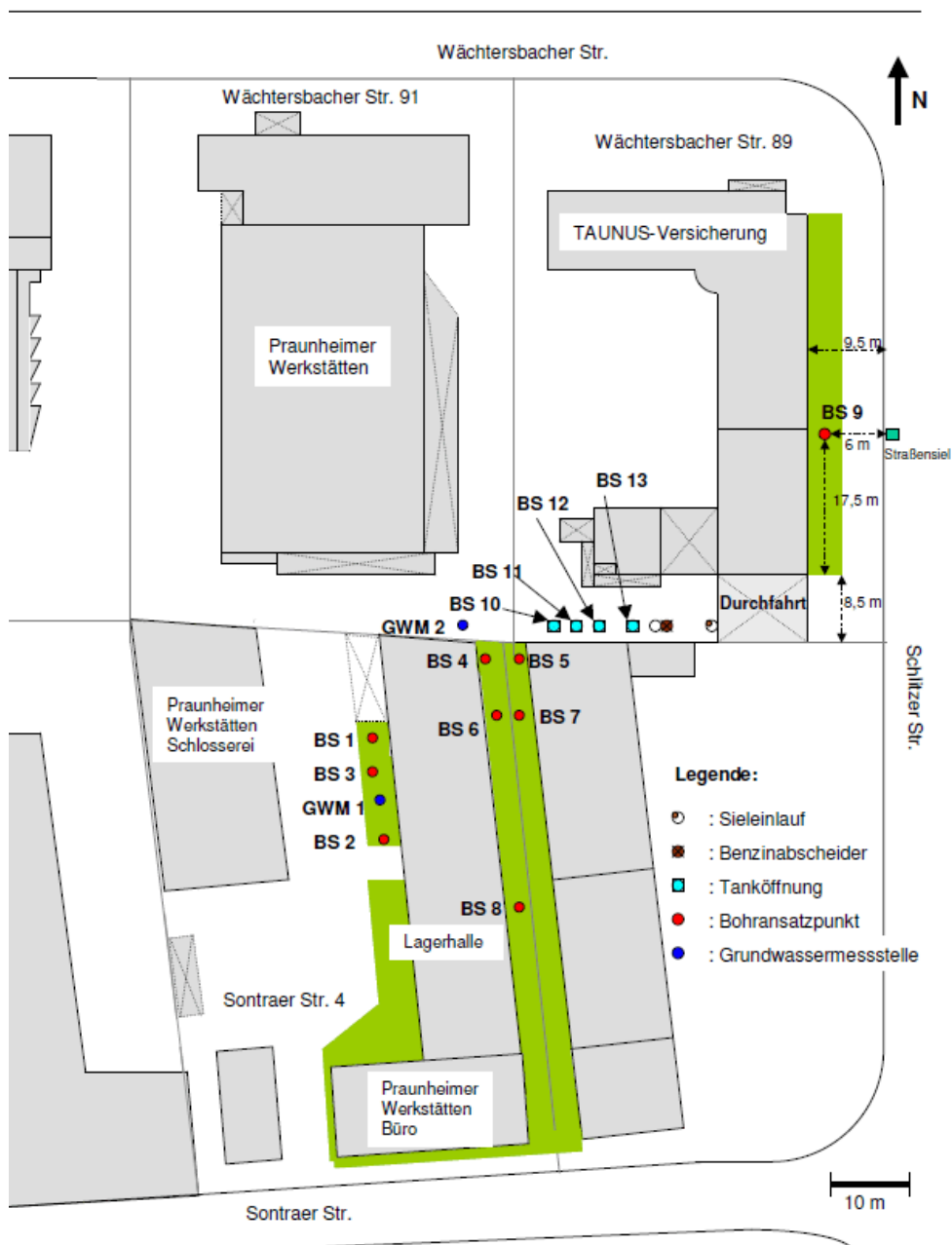
Es wurden zwei Messkampagnen im Abstand von zwei Jahren durchgeführt. In Kampagne I erfolgten die Aufschlussarbeiten (Anlegen temporärer GW-Messstellen, Vor-Ort-Messungen mit dem mobilen Massenspektrometer EM 640S und vergleichende Labormessungen bei VEGAS.

Das Ziel der zweiten dreitägigen Messkampagne bestand:

- a) in der Überprüfung und der möglichen zeitlichen Veränderung der Konzen-

- trationsprofile in der Schadstofffahne
- in der vergleichenden Messung an zwei verschiedenen Massenspektrometersysteme
  - im Vergleich der Messungen zwischen einem akkreditierten Labor (DIN-Analytik) und den Vor-Ort-Messungen.

**Lageplan der Bohransatzpunkte und Messstellen**



**Abb. 23:** Lageplan und Lage der Bohransatzpunkte Standort Frankfurt

## **Vorgehensweise**

Auf Grund der Bebauungssituation des Standorts konnten nur Aufschlüsse in den Grünstreifen um die Gebäude niedergebracht werden. Da hier mit unterirdischen Leitungen gerechnet werden musste, wurde von Hand vorgeschachtet. Die Hauptbelastung wurde im Grundwasser vermutet, wurden Boden- und Grundwasserproben für die Laboranalytik entnommen und die Grundwasserproben zum Teil vor-Ort mit dem GC-MS gemessen. Dazu wurden die Wasserproben mittels eines Spray-and-Trap-Systems ausgeblasen und die flüchtigen Wasserinhaltsstoffe auf TENAX gesammelt. Die Kontaminanten wurden über Thermodesorption von den TENAX-Röhrchen desorbiert und der Messung zugeführt.

Die Sondierpunkte wurden teilweise zu temporären 1-Zoll Grundwassermessstellen ausgebaut, die in der zweiten Kampagne wieder verwendet werden konnten.

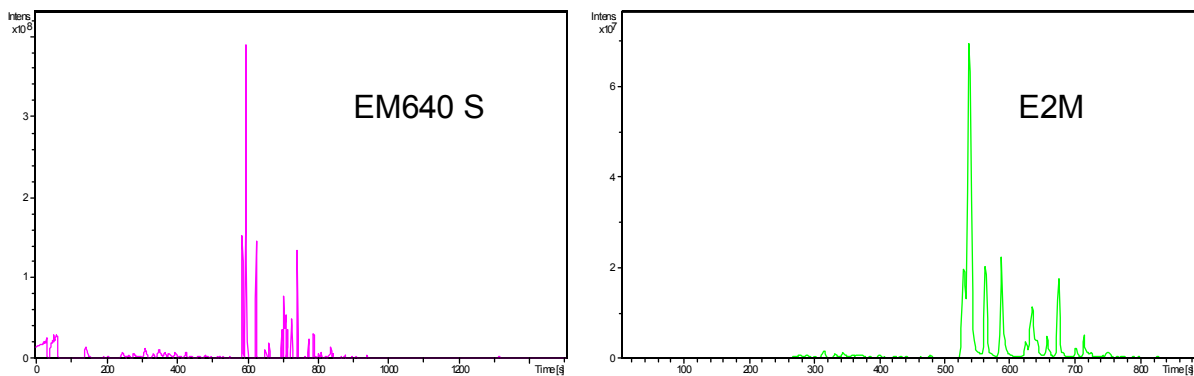
## **Ergebnisse**

Da am Standort nur leichtere Kohlenwasserstoffe vorhanden waren, konnten mit dem PAK-Fluorometer keine sinnvollen Messungen durchgeführt werden. Der Einsatz des Ramm GC der Uni Hamburg-Harburg wurde wegen Hardwareproblemen abgebrochen.

Somit wurde versucht, mit den GC-MS Systemen der Fa. Bruker eine schnelle Standortcharakterisierung durchzuführen. Dazu wurden vorwiegend Grundwasserproben mit der "purge and trap" Technik gemessen. Vergleichend wurden Proben in das VEGAS Analytiklabor gebracht und dort untersucht. Tabelle 8 zeigt einen Vergleich der zwei GC-MS Geräte EM640 und EM2 sowie die dazugehörigen Laborergebnisse. Man sieht die gute Übereinstimmung der verschiedenen Werte, die zum Teil mit erheblichem zeitlichen Abstand erzielt wurden.

Tabelle 8: Vergleich der Messwerte der GC-MS Systeme von Bruker und der Laborergebnisse von VEGAS

	Benzol	Toluol	Ethyl- benzol	meta- Xylol	ortho- Xylol	Iso-Propyl- benzol	n-Propyl- benzol	Mesitylen	1,2,4-Tri- methylbenzol
<b>GWM 1</b>									
EM 640	<b>0,1</b>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
E2M	<0,20	<b>0,5</b>	<0,2	<0,2	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Labor	<0,5	<0,5	<0,20	<0,20	<0,20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
							n.b. =	nicht	bestimmt
<b>BS 1</b>									
EM 640	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
E2M	<0,20	<b>0,4</b>	<0,2	<0,2	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Labor	<0,5	<0,5	<0,20	<0,20	<0,20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
<b>BS 3</b>									
EM 640	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
E2M	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<0,2	<0,2	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Labor	<0,5	<0,5	<0,20	<0,20	<0,20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
<b>BS 9</b>									
EM 640	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
E2M	<0,20	<b>0,4</b>	<0,2	<0,2	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Labor	<0,5	<0,5	<0,20	<0,20	<0,20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
<b>BS 8</b>									
EM 640	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
E2M	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<0,2	<0,2	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Labor	<0,5	<0,5	<0,20	<0,20	<0,20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
<b>BS 7</b>									
EM 640	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
E2M	<0,20	<b>0,3</b>	<0,2	<0,2	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Labor	<0,5	<0,5	<0,20	<0,20	<0,20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
<b>BS 6</b>									
EM 640	<b>0,7</b>	<0,05	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<0,05	<b>0,2</b>	<0,05	<0,05	<0,05
E2M	<b>0,5</b>	<b>4,2</b>	<0,2	<0,2	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Labor	<b>0,8</b>	<0,50	<b>0,2</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
<b>BS 5</b>									
EM 640	<b>2,8</b>	<b>15,5</b>	<b>804</b>	<b>3917</b>	<b>859</b>	<b>78,7</b>	<b>153</b>	<b>180</b>	<b>757</b>
E2M	<b>5,1</b>	<b>23,1</b>	<b>632</b>	<b>3126</b>	<b>875</b>	k.Z.	k.Z.	k.Z.	k.Z.
Labor	<b>3,1</b>	<b>18,2</b>	<b>767</b>	<b>1544</b>	<b>833</b>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
							k.Z. =	keine	Zuordnung im TIC
<b>BS 4</b>									
EM 640	<b>3,1</b>	<b>20,5</b>	<b>551</b>	<b>1111</b>	<b>427</b>	<b>129</b>	<b>244</b>	<b>101</b>	<b>1245</b>
E2M	<b>8,6</b>	<b>18</b>	<b>585</b>	<b>1930</b>	<b>443</b>	<b>252</b>	k.Z.	<b>123</b>	k.Z.
Labor	<b>3,7</b>	<b>19,3</b>	<b>228</b>	<b>829</b>	<b>259</b>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
							n.b. =	nicht	bestimmt
<b>GWM 2</b>									
EM 640	<b>1</b>	<b>4,5</b>	<b>124</b>	<b>348</b>	<b>45,7</b>	<b>31</b>	<b>53</b>	<b>7,6</b>	<b>201</b>
E2M	<b>2,2</b>	<b>7,4</b>	<b>195</b>	<b>638</b>	<b>25,3</b>	<b>94,5</b>	k.Z.	<b>10,8</b>	k.Z.
Labor	<b>1,3</b>	<b>3,9</b>	<b>33,3</b>	<b>154</b>	<b>34,4</b>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.



**Abb. 24:** Vergleich der Totalionenstromchromatogramme paralleler Wasserproben der Messstelle BS 5 des EM 640 S (Verdünnung 1:25) und des E2M (Verdünnung 1:16)

Auch bezüglich der Identifizierung der vorhandenen Schadstoffmuster konnten mit den Vor-Ort Geräten sehr schnelle und aussagekräftige Daten erzeugt werden. Abbildung 24 zeigt einen Vergleich von zwei Chromatogrammen.

## Fazit

Wie in der obigen Abbildung (Abb. 24) erkennbar, sind die GC-Läufe von EM 640 S und E2M identisch. Die GC-Läufe am E2M sind schneller. Dafür ist die chromatographische Auflösung (kürzere Säule) schlechter.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sowohl die Laboranalytik, als auch die Messungen mit den beiden mobilen Massenspektrometern charakteristische Verteilungsmuster in der Aromatenbelastung im Bereich der Grundwassermessstelle 2 belegen. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2005 konnten damit bestätigt werden.

Sowohl Labor- wie Vor-Ort-Analytik zeigten ebenfalls, dass hohe Gehalte an höher alkylierten Monoaromaten (Mesitylen, 1,2,4-Trimethylbenzol) in den Wasserproben von GWM 2 sowie auch in den temporären Messstellen von BS 4 und BS 5 nachweisbar sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Aromatenbelastung scheinbar auf einen kleinräumigen Geländebereich von wenigen Metern konzentriert und sich auch nach zwei Jahren weder in südwestlicher, noch in südlicher Richtung weiter ausgebreitet hat.

Der grundsätzlich entscheidende Zeitfaktor für die Feldanalytik ist eine sichere und kontaminationsfreie Gewinnung von Grundwasserproben. Die LHKW- und BTEX-Bestimmung mit den mobilen GC-MS Systemen erfordert insbesondere bei



höher belasteten Proben eine entsprechende Probenvorbereitung und Probenvorbehandlung.

Der große und entscheidende Vorteil beim Einsatz des mobilen GC-MS direkt auf dem Standort gegenüber der klassischen Erkundung liegt in der sofortigen Verfügbarkeit der Messergebnisse und der differenzierten Stoffanalytik, die aufgrund des ermittelten Schadstoffspektrums bereits sofort eine direkte Schadensfall-Zuordnung erlaubt. Im vorliegenden Fall, in dem es um die Identifizierung von Einzelkomponenten, bzw. die Ermittlung der Zusammensetzung von komplexen Schadstoffsituationen ging, wären die einfachen Vor-Ort-Systeme überfordert gewesen.

## **5.2.2 Standort in Bydgoszcz, Polen**

### **Ziel**

Die Feldaktion in Bydgoszcz (Polen) wurde im Rahmen des EU-Projekts PROMOTE durchgeführt. Es wurden allerdings auch einige Aspekte aus dem vorliegenden Projekt in die Feldaktivitäten integriert, da hier an einem interessanten Standort umfangreiche Messungen möglich waren. Während für das PROMOTE-Projekt, neben den Tests der Probennahmesysteme der Fa. imw und des Photometers eines polnischen Projektpartners, die Tests des Faserfluorometers und des MOX-Systems an zwei speziell präparierten Messstellen im Vordergrund standen, wurden zusätzlich die Einsatzstrategie des Faserfluorometers zur schnellen Erkundung von Kontaminationsfahnen in vorhandenen Grundwassermessstellen und der Einsatz des mobilen GC-PID-Systems zur schnellen, flexiblen Vor-Ort-Messung von Grundwasser- und Bodenluftproben untersucht. Des Weiteren wurde der bei VEGAS entwickelte druckhaltende Probennehmer eingesetzt, um Tiefenprofile der Schadstoffkonzentration aufzunehmen und mit den anderen Ergebnissen vergleichend zu betrachten.

### **Standortbeschreibung**

Während des PROMOTE -Projekts wurde ein ehemaliges Gaswerk in Bydgoszcz, Polen als Standort zur Durchführung von Feldtests ausgewählt. Der Untergrund besteht aus quartären Sanden und Kiesen, die zur Böschung des nahe gelegenen Flusses hin in feinsandige bis schluffige alluviale Ablagerungen übergehen. In 0,5-2,5 m Tiefe sind diese Sedimente teilweise von anthropogenen Verfüllungen überlagert, was neben einigen im Untergrund verlaufenden Gas- und Stromleitungen die Ramm-

barkeit z.T. stark eingeschränkt. Der Grundwasser-Flurabstand beträgt ca. 2,0 - 2,3 m und ist stark von jahreszeitlichen Schwankungen des Vorfluters beeinflusst.

Das 5,2 ha große Gelände wurde über 140 Jahre lang als Gaswerk genutzt, wobei große Mengen des angefallenen Teeröls in den Untergrund versickerten. Heute ist ein großer Teil der Oberfläche versiegelt.

Das Schadstoffspektrum beinhaltet vor allem polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), es sind jedoch auch BTEX, Phenole und Ammonium in nennenswerten Konzentrationen zu finden. In den Bereichen der ehemaligen Teeröl-Becken, sowie unterstrom davon bis zum Vorfluter hat sich vermutlich über weite Bereiche Produktphase ausgebreitet, die in einigen Messstellen aufschwimmt (siehe Abb. 25).

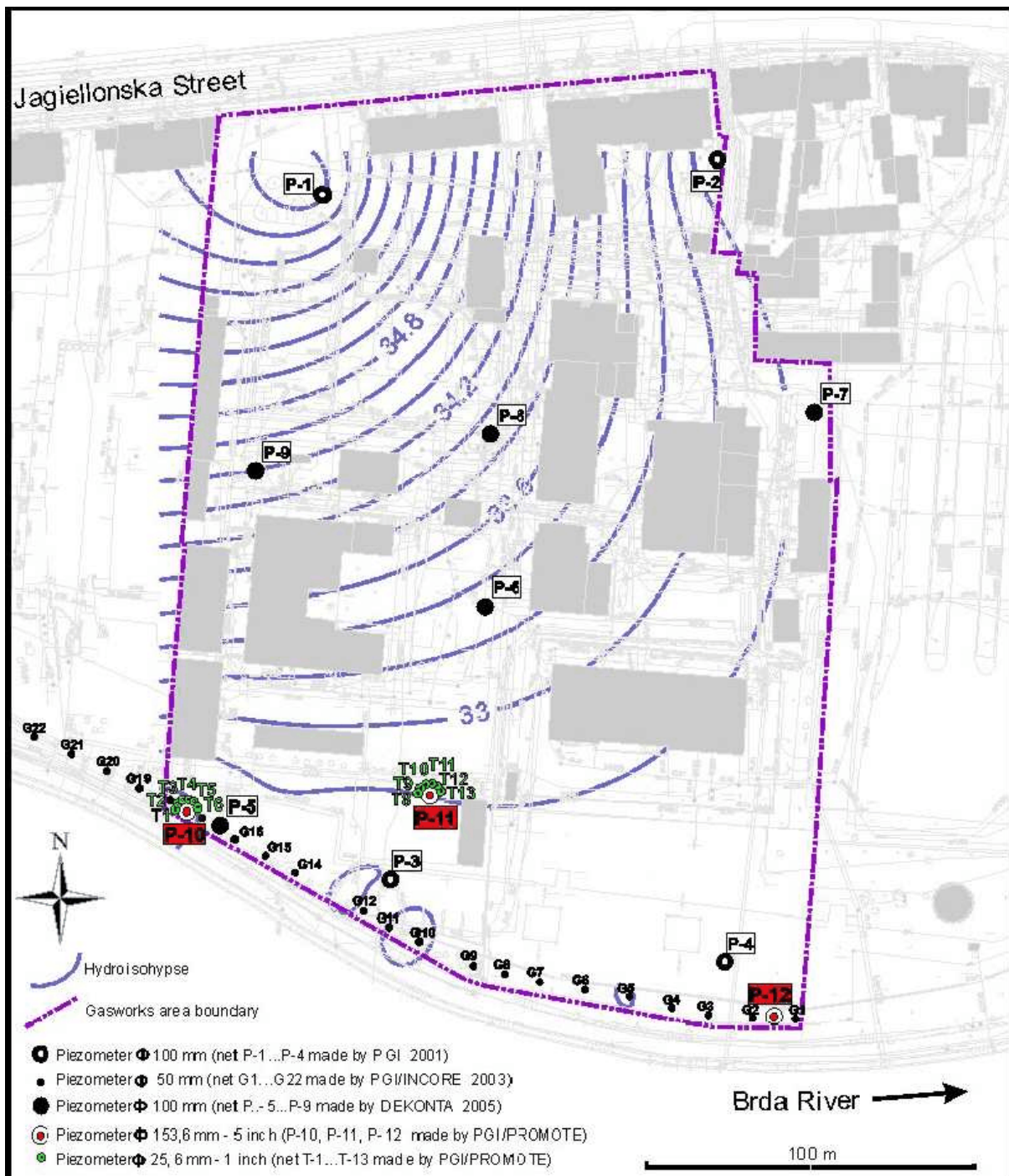


Abb. 25: Lageplan Standort Bydgoszcz

Der Standort wird bereits seit einigen Jahren intensiv untersucht. So wurden bereits 2004 einige Messstellen entlang des Vorfluters errichtet und es liegen umfangreiche Daten zu den hydrogeologischen Verhältnissen und der Belastung des Grundwassers vor.

## Vorgehensweise

Mit Hilfe eines fasergebundenen Fluorometers wurden vertikale Profile der im Grundwasser gelösten PAK-Konzentrationen aufgenommen. Dazu wurde an den neu errichteten 5"-Messstellen T6 und T13, sowie an den bereits vorhandenen 2" - Messstellen entlang des Flusses (G1-G15) eine ca. 30 m lange Quarzfaser mittels einer Winde mit 10 mm/s abgelassen und dabei die Fluoreszenz kontinuierlich aufgezeichnet (Abb. 26). Die Messanordnung war zuvor in Stuttgart mittels externer Naphthalin-Standards (in Wasser) kalibriert worden



**Abb. 26:** Oben, von li. nach re.: Referenzprobenahme mittels Doppelventil-Pumpe (imw) und VEGAS Probennehmer und Probenvorbereitung. Unten, von li. nach re.: Fluoreszenz-Messungen in 1" Brunnen und vorhandenen 2"-Messstellen, sowie mit Teerölphase verklebter Faserkopf nach der Messung in G15

An drei Messpunkten mit organoleptischen Positivbefunden in benachbarten Brunnen wurden Tiefenprofile der Schadstoffbelastung in der Bodenluft gemessen. Dazu wurde eine Rammsondierung mit Hilfe einer speziellen Rammspitze niedergebracht, die in definierten Tiefen zurückgezogen und über einen innenliegenden Teflonschlauch mit dem MOX-System verbunden wurde (Abb. 27). Mit Hilfe der Pumpe des MOX-Systems wurde mit einer Förderrate von 0,2 L/min Bodenluft in die Sensorkammer gepumpt und das Messsignal bis zum Erreichen eines stabilen Signals vier Minuten lang aufgezeichnet.

Vor der Messung wurde - trotz vorher erfolgter Kalibrierung im Labor - eine Kalibrie-

ung unter den Messbedingungen im Feld durchgeführt.

Über einen Bypass wurde anschließend jeweils ein 1 L Tedlar-Beutel befüllt und direkt am Vor-Ort GC gemessen (Anschluss des Beutels am vorderen Injektionsport). Zusätzlich wurden mit einem Gasprobennehmer (DESAGA GS-301) Tenax-Röhrchen mit 5 L Bodenluft beschickt, verschlossen und im analytischen Labor von VEGAS mittels Thermodesorptions-Verfahren analysiert (DANI STD 1000 mit GC-MS).

An den neu eingerichteten Grundwassermessstellen P10 und P11 wurden außerdem Messungen mit dem Thermoflow-Gerät durchgeführt. Dazu wurde jeweils im Brunnen mit Hilfe einer Tauchpumpe (Grundfos MP1, Pumprate ca. 300 L/h) eine Vertikalströmung induziert, mit der Thermoflow-Sonde in konstanter Geschwindigkeit von 20 mm/s abgefahren und die Fließgeschwindigkeit kontinuierlich aufgezeichnet. Bei dieser Anordnung erhält man idealerweise ein nach oben hin stetig ansteigendes Zuflussprofil, dessen Steigung proportional zur Leitfähigkeit der anstehenden Schicht ist.



**Abb. 27:** Feldlabor mit Headspace-CG/PID (li), Rammspitze für die Bodenluft-Probennahme (Mitte) und MOX-System mit angeschlossenen Gasbeutel (re).

Referenzproben für die chemische Analyse wurden mit einer Doppelventilpumpe aus den Mehrkanalmessstellen CMT T2-T5 resp. T9-T12 entnommen und Teilproben von je 10 mL mit einer Pipette direkt in Headspace-Vials abgefüllt. Die Analyse erfolgte innerhalb von zwei Stunden im Feldlabor (portabler GC/PID nach DIN 38407 F9/F5, modifiziert für PID Detektion).

Ein zweiter Satz Proben wurde analog vorbereitet und zusätzlich mit 100  $\mu$ L konzentrierter Perchlorsäure stabilisiert. Diese Proben wurden am Ende der Woche mittels GC/FID im VEGAS Labor analysiert.

An P11 erfolgte zusätzlich eine horizontierte Probenahme mit dem druckhaltenden CKW-Probennehmer (Abb. 26), wobei mit einer Tauchpumpe nahe des Grundwasserspiegels eine kontinuierliche Vertikalströmung erzeugt und von oben nach unten beprobt wurde (Grundfos MP1, Pumprate ca. 300 L/h).

## **Ergebnisse**

Die mittels Doppelventilpumpe entnommenen Referenzproben wiesen eine hohe Trübung auf. Bei einigen Proben waren in Folge der Ansäuerung ein starker Geruch nach  $H_2S$  festzustellen, was auf sulfatreduzierende Bedingungen im Aquifer schließen lässt. Die aufgenommenen Fluoreszenzsignale waren im oberen Bereich des Profils am höchsten und nahmen generell nach unten hin stark ab, von lokal auftretenden höheren Werten in 3,7 and 5,4 m Tiefe in T13 abgesehen.

Da das Fluorometer zur Wartung einige Male zerlegt werden musste, war die zuvor im Labor durchgeführte Kalibrierung für die meisten Messungen nicht mehr gültig, weshalb die Rohsignale angegeben sind. Die aufgenommenen Profile sind demnach zur Abschätzung der Konzentrationsverteilung über die Tiefe innerhalb eines Profils, nicht jedoch für einen quantitativen Vergleich zwischen Profilen geeignet.

Aus den Referenzmessungen gehen maximale Gehalte bei etwa 5 m Tiefe hervor, wobei dieses Maximum in den mittels CKW-Probennehmer entnommenen Proben weniger ausgeprägt war (Tabelle 8).

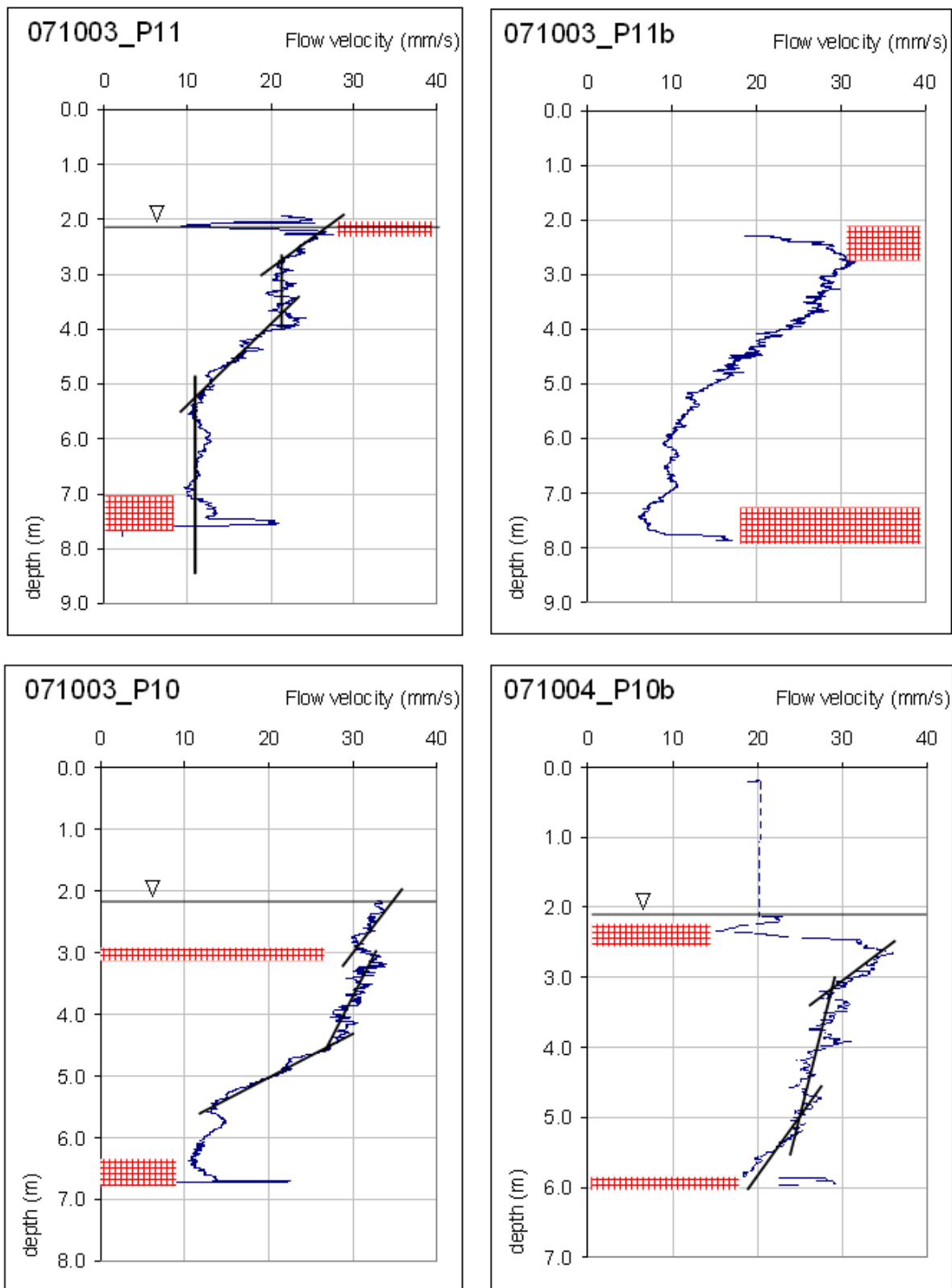


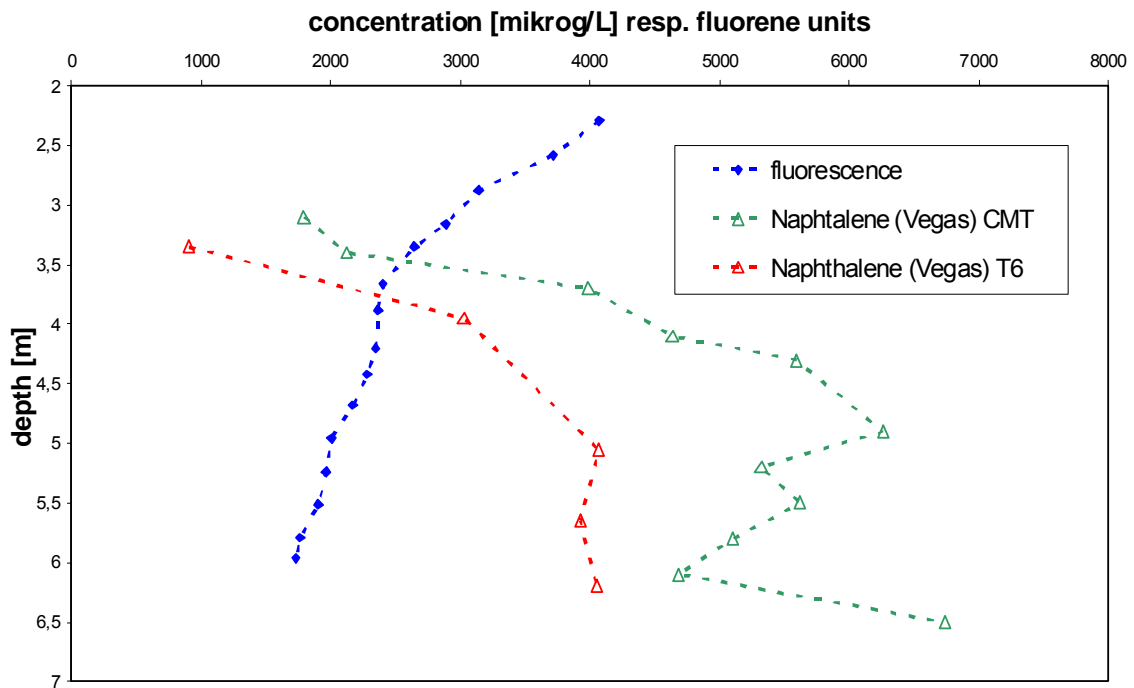
Abb. 28: Ergebnisse Thermoflow-Messungen

**Tabelle 8:** Ergebnisse der Referenzanalytik vor Ort am Standort in Bydgoszcz mittels GC/PID. Im Vergleich dazu die Ergebnisse der konventionellen Laboranalytik.

name	Tiefe (m)	Vor-Ort- GC/PID (mg/L)				Labor GC/FID (mg/L)	
		CMT Messstellen		Probennehmer (in P11)		CMT - Messstellen	
		Benz+Tol	Naphthalin	Benz+Tol	Naphthalin	Benz+Tol	Naphthalin
<b>Nahe P11</b>							
P11	2.0			5.08	3.72		
T10 - 1	3.0	0.82	0.90	4.89	3.63	n.a.	n.a.
T11 - 1	3.3	1.03	0.68			0.62	0.69
T10 - 2	3.6	1.04	0.75			0.38	3.30
T11 - 2	3.9	1.68	1.85			1.24	1.47
P11	4.0			4.98	4.67		
T10 - 3	4.2	0.44	4.65			0.40	3.32
T11 - 3	4.6	2.94	6.15			2.51	4.26
P11	5.0			4.99	4.12		
T12 - 1	6.0	6.04	3.96	4.71	2.89	4.48	2.67
T09 - 1	6.3	7.14	3.78			4.93	2.82
T12 - 2	6.6	7.62	4.13			5.55	2.91
T09 - 2	6.9	1.75	1.60			1.09	1.11
P11	7.0						
T12 - 3	7.2	3.15	2.81	1.61	1.19	0.00	0.00
T09 - 3	7.6	3.63	0.64			1.10	0.05
<b>Nahe P10</b>							
T4 - 1	2.8	n.a.	n.a.			n.a.	n.a.
T3 - 1	3.1	3.37	2.73			1.69	1.79
T4 - 2	3.4	4.03	3.92			1.58	2.12
T3 - 2	3.7	4.35	6.41			2.71	3.99
T4 - 3	4.1	4.50	7.44			4.06	4.64
T3 - 3	4.3	3.63	8.94			3.53	5.59
T5 - 1	4.9	3.51	8.84			3.37	6.26
T2 - 1	5.2	3.18	7.92			2.94	5.32
T5 - 2	5.5	2.92	8.35			2.62	5.62
T2 - 3	5.8	3.74	7.68			3.16	5.11
T5 - 3	6.1	3.15	7.16			2.57	4.68
T2 - 2	6.5	3.14	10.31			2.69	6.74

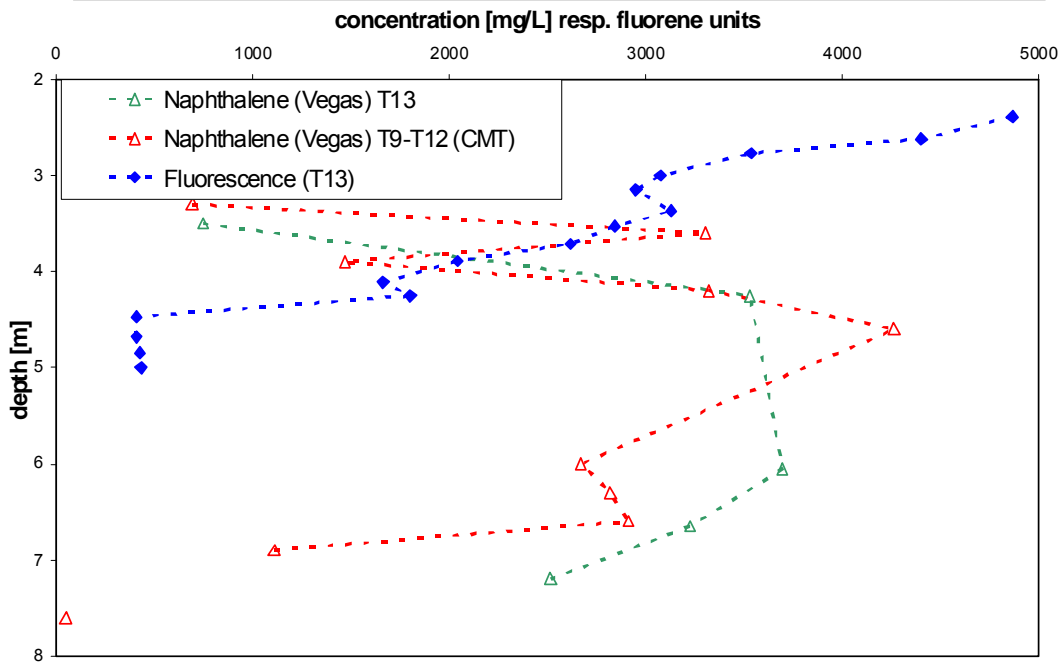


### Fluorescence vs. Naphthalene (T2-T5 (CMT)) [T6 (packer)]



**Abb. 29:** Fluoreszenzprofil in Messstelle T6 im Vergleich zu den Naphthalin-Konzentrationen aus CMT- und Minipacker-Probennahmen

### Fluorescence vs. Naphthalene (T9-T12 (CMT)) [T13 (packer)]



**Abb. 30:** Fluoreszenzprofil in Messstelle T13 im Vergleich zu den Naphthalin-Konzentrationen aus CMT- und Minipacker-Probennahmen

Da weder mit dem MOX-System noch mit dem GC/PID (in der verwendeten Konfiguration) eine Trennung von Benzol und Toluol möglich war, wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit die Summe der beiden Analyte ebenfalls für die Tenax-Bestimmung angegeben.

Des Weiteren wurden die MOX-Ergebnisse in Benzol-Equivalente umgerechnet, was ein gängiges Verfahren bei der Verwendung handgehaltener PID-Geräte ist. In allen vier Profilen wurden Kohlenwasserstoffe in der Bodenluft gefunden, wobei die höchsten Konzentrationen im oberen Bereich der Profile 2 und 3, sowie nahe des Wasserspiegels in den Profilen 2 und 4 gefunden wurden.

Die im Feldlabor gemessenen Konzentrationen an Benzol und Toluol lagen mit um die 10 ng/L sehr niedrig, wiesen jedoch mit 267 ng/L einen erhöhten Wert an der Spitze von Profil 3 auf, wo auch mittels Tenax-Sorptionsverfahren die höchsten Werte von 112 ng/L gefunden wurden.

Es ist jedoch anzumerken, dass das Schadstoffspektrum in der Bodenluft am Standort stark von Naphthalin dominiert war, worauf die MOX-Sensoren eine gewisse Quersensitivität besitzen. Zusammen mit seiner allgemein recht geringen Sensitivität erschien das MOX-System daher für diesen Feldeinsatz nur bedingt geeignet.



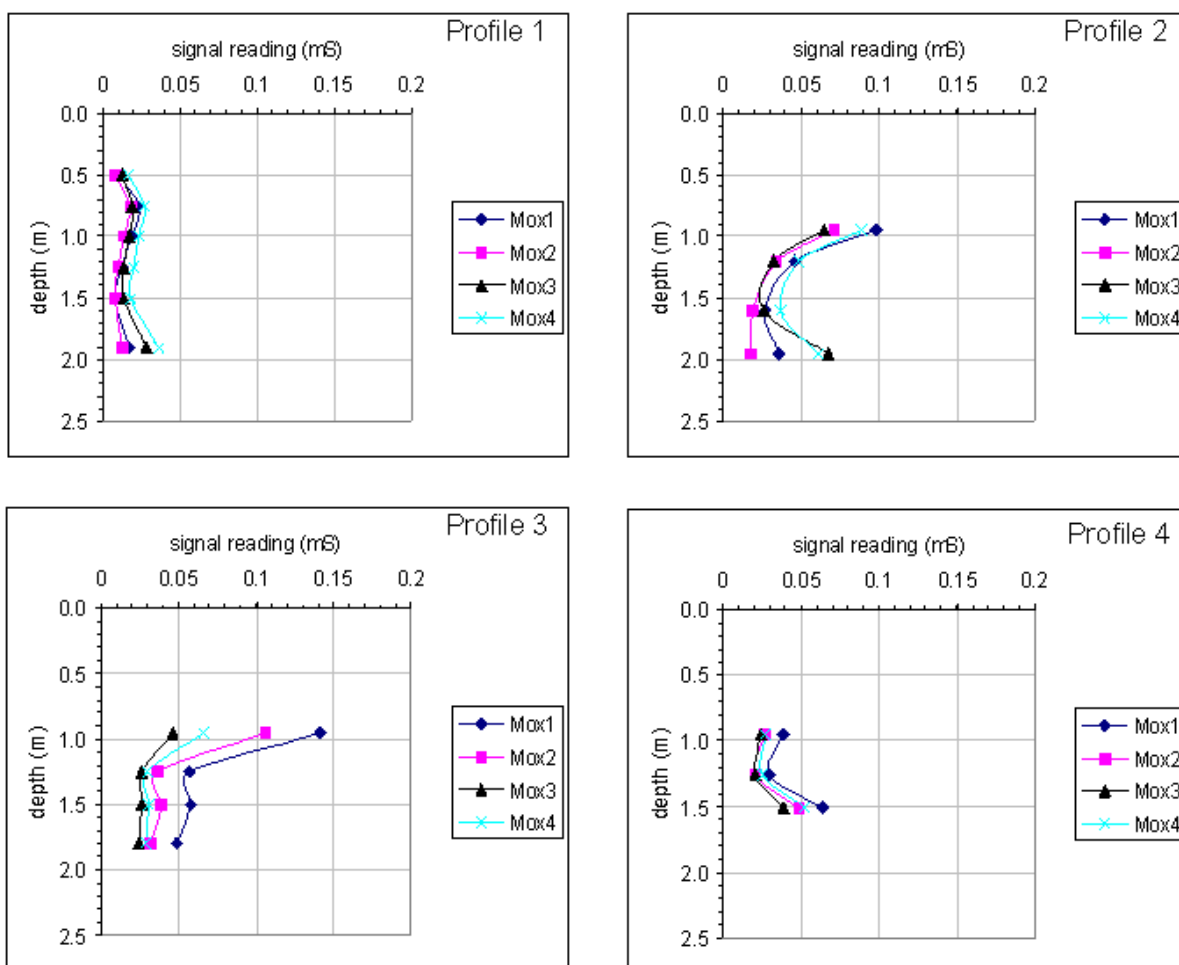


Abb. 31: Mit dem MOX -System an der Bodenluft gemessene Signale an vier Profilen

## Fazit

In dieser äußerst aufwendigen Feldaktion konnten eine Reihe von Geräten und Verfahren getestet werden. Die Besonderheit dieser Aktion war es, dass sehr viele Beteiligte anwesend waren und die Aufgaben sowie die Zuständigkeiten unter diesen verteilt waren. Diese Besonderheit ergab sich aus dem Rollenspiel, mit dem der Ablauf eines Verifizierungsverfahrens im EU-Projekt "PROMOTE" durchgespielt werden sollte. Das relativ komplexe Ablaufschema (siehe Abbildung 4) bedingte den erheblichen Aufwand, der durch die Notwendigkeit, die Tests an einem polnischen Standort durchzuführen, noch vergrößert wurde.

Auf der anderen Seite konnten durch die besonderen Umstände wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, bezüglich der Anforderungen an Referenzwerte und der Wahl von Referenzverfahren. Da in diesen Tests mehrere Probennahmeverfahren in räumlich

eng beieinander liegenden Messstellen angewandt wurden, wurden eine Vielzahl von vergleichbaren Informationen erhalten, deren Messwerte zum Teil erheblich differierten. Dieser Umstand führte zu erheblichen Problemen bei der Interpretation, bzw. der Festlegung von "richtigen" Referenzwerten (siehe auch Kapitel 6).

Eine weitere Erfahrung, die im Rahmen dieser Tests gewonnen wurde, war es, dass es kritisch sein kann, analytische Proben zur Analyse in weit entfernte Laboratorien zu schicken. Im konkreten Fall wurden die Proben, die in Polen gewonnen wurden, nach Spanien geschickt, was trotz größter Vorsicht beim Verpacken und der Art des Versands zu Glasbruch geführt hat und wahrscheinlich auch mit dafür verantwortlich ist, dass die Problem bei der Dateninterpretation in dem Ausmaß auftraten. Idealerweise sollte für solche Fälle ein Labor in unmittelbarer Nähe des Teststandorts gewählt werden. Noch besser wäre die Proben direkt vor Ort zu analysieren, wofür natürlich eine gewisse Infrastruktur vorhanden sein oder geschaffen werden müsste. Letzteres wäre aber auch aus anderen Gründen an Feldstandorten, an denen Geräteverifizierungen durchgeführt werden, wünschenswert. Unter diesen Bedingungen wären die Referenzwerte zeitnah verfügbar und Probleme könnten frühzeitig erkannt und ggf. noch korrigiert werden, bevor Schwierigkeiten mit der Interpretation von Daten auftreten.

Für die einzelnen getesteten Geräte ergaben sich bezüglich Handhabung und Robustheit durchweg positive Ergebnisse, mit Ausnahme des MOX-Systems, dessen mechanische Belastbarkeit (Verbindung zwischen Rammspitze und Gasschlauch) sich als nicht ausreichend für die dort angetroffenen Untergrundverhältnisse zeigte.

### **5.2.3 Standort in Hamburg**

#### **Ziel**

Primäres Ziel der Messkampagnen war die nähere Erkundung eines Deponiestandorts mit vorwiegend CKW als Schadstoffen, der von den örtlichen Behörden schon länger bearbeitet wurde und an dem auch jahrelang eine Sanierung lief. Die Sanierung wurde nach jahrelangem kostspieligem Betrieb eingestellt, ohne den erhofften Erfolg zu bringen. Die Frage, die im Vordergrund stand, war, zu klären, warum die Sanierung keinen nachhaltigen Erfolg gebracht hatte und im Abstrom des Deponiekörpers wie auch in den Grundwassermessstellen auf dem Deponiegelände selbst nach wie vor sehr hohe CKW-Gehalte zu finden waren.

Für diesen Standort wurde unter Nutzung der vorhandenen Messstellen eine Strategie ausgearbeitet, bei der gleichzeitig der Einsatz des CKW-Probennehmers, des Thermoflows sowie der GC-PID-Systems im Routineeinsatz getestet werden konnte.

## **Standortbeschreibung**

Die ehemalige Deponie befindet sich im Norden von Hamburg im Stadtteil Farmsen-Berne. Hierbei handelt es sich um die ehemalige Tongrube einer Ziegelei, die nach einem Wassereinbruch bereits vor dem zweiten Weltkrieg stillgelegt worden ist. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Grube bis zum Jahre 1959 mit Trümmer- und Bau-schutt sowie mit Haus- und Industriemüll verfüllt. Im Zuge einer neuen Trassenplanung für eine vierspurige Hauptverkehrsstraße, die ursprünglich durch den Deponiekörper führen sollte, wurde die Altlast entdeckt und führte zu einer seitlichen Umfahrung des ehemaligen Deponie-geländes. Nach der Entdeckung einer Kontamination im dar-unterliegenden Grundwasserleiter mit LCKW und BTEX wurde die Fläche 1995 von der Wasserbehörde an das Fachamt für Altlastensanierung zur Sanierung der Deponie übergeben. Neben der Grundwasserbelastung ist gemäß Bundesbodenschutzgesetz (BbodSchG) auch die Deponie als Schadstoffquelle zu sanieren. Die LCKW-Quelle ist im nordwestlich gelegenen Deponiebereich (ehemalige Deponiezufahrt) vermutet worden. Zwei Erkundungskampagnen, die in den Jahren 2000 und 2001 durchgeführt wurden, ermöglichten keine Lokalisierung der eigentlichen Schadstoffquelle, so dass eine Sanierung oder Sicherung des Quellbereiches der LCKW-Fahne bislang nicht möglich ist. Zur Prüfung von verschiedenen Sanierungsvarianten erfolgten ab 1997 Erkundungen und Pilotversuche zur Stauwasserentnahme, einer qualifizierten Ab-deckung und einer Grundwassersanierung.

Von Oktober 2002 bis Januar 2003 erfolgte eine qualifizierte Abdeckung des Deponie-körpers. Im Zuge der damit verbundenen Umbauarbeiten an der Sanierungsanlage wurden die Stau- und Grundwasseraufbereitungen zusammengelegt und über die Aufbereitungsanlage der bisherigen Grundwasserförderung betrieben.

Die Eingrenzung bzw. Behandlung der LCKW-Fahne im Grundwasser sollte über eine hydraulische Fassung der Fahne erreicht werden, bei der gleichzeitig eine Infiltration von  $H_2O_2$  und Natriumnitrat erfolgt. Dies soll nicht nur die weitere Ausbreitung der Fahne verhindern, sondern gleichzeitig auch den biologischen in situ-Abbau der niederchlorierten LCKW erhöhen. Eine Enteisung und der biologische Schadstoff-abbau soll dabei auch den Aufwand bei der nachgeschalteten, oberirdischen Wassereinigung erleichtern. Diese Anlage wurde im Jahre 2000 durch Grundwasser-entnahme mit Aufbereitung und anschließender Infiltration ergänzt. Die Dimensionie-

rung der Entnahme- und Infiltrationsraten erfolgte mit Hilfe eines numerischen Grundwasserströmungsmodells.

Im April 2004 wurde die Stauwasserentnahme aufgrund zu geringer Wassermengen abgeschaltet.

Aus den weiteren Erkundungsmaßnahmen und den Überwachungsmaßnahmen während der seit 6 Jahren laufenden Sanierung ließen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Der Fahnenbereich verschwenkt sich und dehnt sich weiter nach Westen aus
- Die erzeugte Oxidationszone erstreckt sich auch nach mehreren Jahren lediglich über eine maximale Reichweite von ca. 80 m
- Im Abstrom treten wieder geringe Sauerstoffkonzentrationen mit deutlich erhöhten LCKW-Konzentrationen auf
- Die LCKW-Konzentrationen (Mischproben) variieren im Untersuchungsbereich zwischen Bestimmungsgrenze und ca. 200 µg/l (Mischproben aus ca. 10 bis 18 m Filterstrecke)
- Eine Fahnenrandkartierung mit Hilfe von MIP-Sondierungen scheiterten an der geforderten Erkundungstiefe, da lediglich nur ca. 15 m Tiefe erreicht werden konnten und der tiefere Grundwasserbereich bis 23 m unerkundet blieb
- Nach Vorbohrung konnten mit der MIP-Sonde größere Tiefen beprobt werden, zeigten aber nur sehr geringe und unplausible LCKW-Konzentrationen innerhalb der Sondierungen (Bestimmungsgrenze lag bei ca. 200 µg/l)

Zur Klärung der jetzigen Belastungssituation im Grundwasserleiter nach dem Abschalten der Sanierungsanlage sollten daher an drei Messstellen tiefenorientierte Beprobungen durchgeführt werden, um entsprechende Konzentrationsprofile über den gesamten Wasserleiter für einzelne Schadstoffe aufnehmen zu können. Hieraus ergeben sich erstmals konkrete Hinweise, welche Schadstoffe mit welchen Konzentrationshöhen in welchen Schichttiefen des Grundwasserleiters vorherrschen. Weiterhin sollten die Zuströmraten über die gesamte Filterstrecke ermittelt werden und ein Vergleich mit den petrographischen Kennwerten bzw. resultierenden Durchlässigkeitsbeiwerten durchgeführt werden. Aus den Zuströmraten lassen sich wiederum die ermittelten Schadstoff-Konzentrationen so umrechnen, dass damit Schadstofffrachten abgeschätzt werden können.

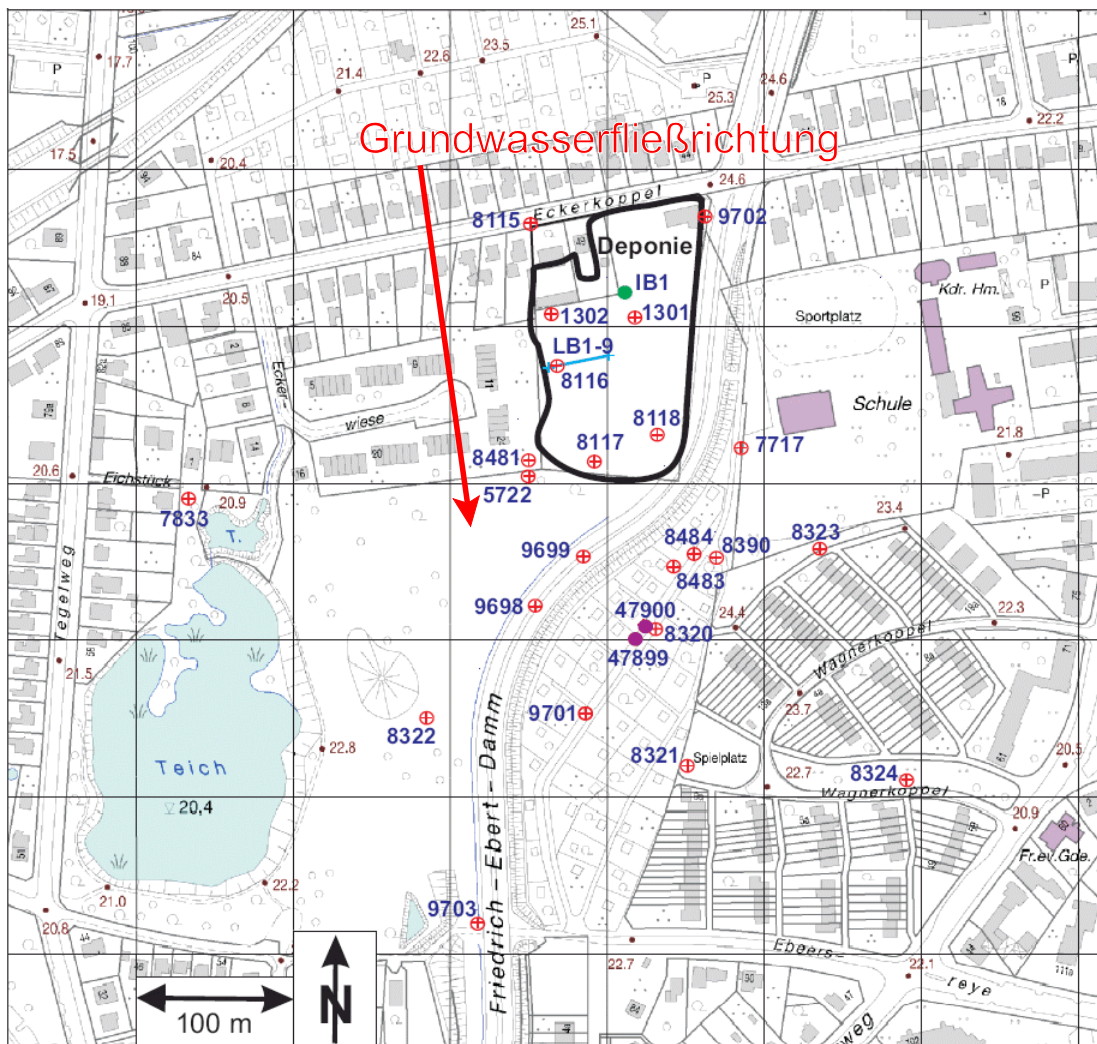


Abb. 32: Lageplan Deponiestandort Hamburg



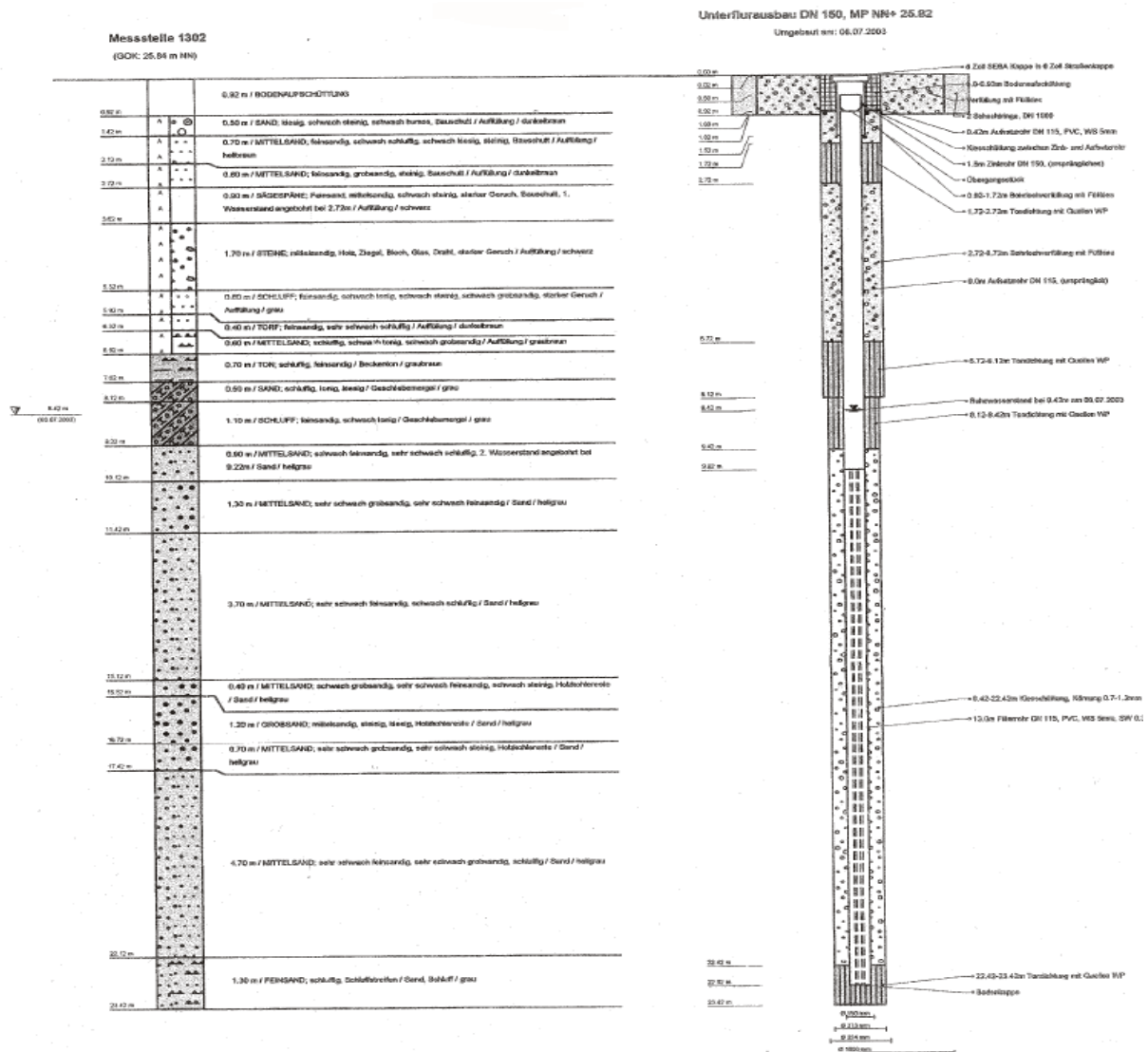


Abb. 33: Schichtenprofil und Ausbauplan der Messstelle 1302

### Vorgehensweise

Es wurden die beiden Messstellen 1302 und 8116 zunächst konventionell und dann mit der in Kapitel 4.2.6 beschriebenen horizontalen Probennahme mit dem CKW-Probennnehmer von VEGAS bei gleichzeitigem Pumpen im oberen Teil der Messstelle beprobt. Für jede Tiefe wurden mehrere Proben entnommen und sowohl direkt vor Ort, im VEGAS-Labor als auch in einem oder auch zwei unabhängigen Labors bestimmt. Begleitend wurden Messungen mit dem Thermoflow-System von VEGAS durchgeführt, um später mit dem beschriebenen Verfahren (Kapitel 4.2.6) auf die Konzentration im jeweiligen Entnahmehorizont rückrechnen zu können. Die Vor-Ort-Messungen wurden mit dem mobilen GC-PID System von VEGAS mit einem Headspace-Autosampler durchgeführt.

Abbildung 34 zeigt die Probennahme mit dem CKW-Probennehmer (linkes Bild) und den Messplatz der Vor-Ort-Analytik in einem Container.



**Abb. 34:** Linkes Bild: Einsatz des CKW-Probennehmers, rechtes Bild: Messplatz GC-PID

## Ergebnisse

Zunächst ist auffällig, dass es zum Teil erhebliche Abweichungen zwischen den vor Ort gemessenen und in den verschiedenen Laboratorien ermittelten Einzelwerten gab. Tabelle 10 zeigt einen Vergleich der Messwerte für die Hauptkontaminanten für die Tiefenprofile der Messstelle 1302.

**Tabelle 10:** Vergleich der Messwerte für die Tiefenprofile aus Messstelle 1302<sup>6</sup>

Messstelle		1302	1302	1302	1302
Probenart		horizontiert entnommen	horizontiert entnommen	horizontiert entnommen	horizontiert entnommen
LCKW [Angaben in µg/l]:		Tetrachlorethen	Trichlorethen	cis-1,2- Dichlorethen	Vinylchlorid
Tiefe (m u. MP)					
11	VOA	< NG	29	764	265
	IHU	0,3	0,3	> 100	> 100
	VEGAS	8	37	605	611
12	VOA	< NG	22	537	222
	IHU	0,3	0,1	> 100	> 100
	VEGAS	7	36	497	556
13	VOA	< NG	14	208	98
	IHU	< 0,1	< 0,1	> 100	> 100
	VEGAS	< 1	< 1	176	408
14	VOA	< NG	21	293	148
	IHU	< 0,10	< 0,10	> 100	> 100
	VEGAS	< 1	< 1	246	450
15	VOA	< NG	22	296	145
	IHU	< 0,10	0,1	> 100	> 100
	VEGAS	< 1	< 1	225	446
16	VOA	< NG	22	301	147
	IHU	< 0,10	0,1	> 100	> 100
	VEGAS	< 1	< 1	219	435
17	VOA	< NG	22	301	161
	IHU	< 0,10	0,1	380	160
	VEGAS	1	5	304	462
18	VOA	< NG	25	332	166
	IHU	< 0,10	0,2	420	172
	VEGAS	1	5	338	488
19	VOA	1	89	787	416
	IHU	< 0,10	0,4	1040	420
	VEGAS	< 1	< 1	485	615
20	VOA	2	144	1011	580
	IHU	> 0,10	0,7	1940	760
	VEGAS	< 1	< 1	1197	1159
21	VOA	3	225	1187	753
	IHU	< 0,10	0,7	3650	1400
	VEGAS	< 1	< 1	1165	1266
22	VOA	2	196	1124	624
	IHU (21,5m)	< 0,10	0,6	2880	880
	VEGAS	< 1	< 1	988	1046

Trotz der zum Teil deutlichen Diskrepanzen zwischen den einzelnen Ergebnissen geben alle drei Verfahren den grundsätzlichen Trend wieder, dass im oberen Aquiferbereich hohe Konzentrationen insbesondere an cis-1,2-Dichlorethen und Vinylchlorid vorliegen, im mittleren Bereich vergleichsweise geringe Konzentrationen gefunden wurden, die in der Tiefe wieder stark ansteigen. Im unteren Aquiferbereich unterhalb von 20 m sind die Konzentrationen sogar am höchsten.

<sup>6</sup> VOA - Vor-Ort GC-PID, IHU - Institut für Hygiene, Hamburg, VEGAS - Institut für Wasserbau, Stuttgart

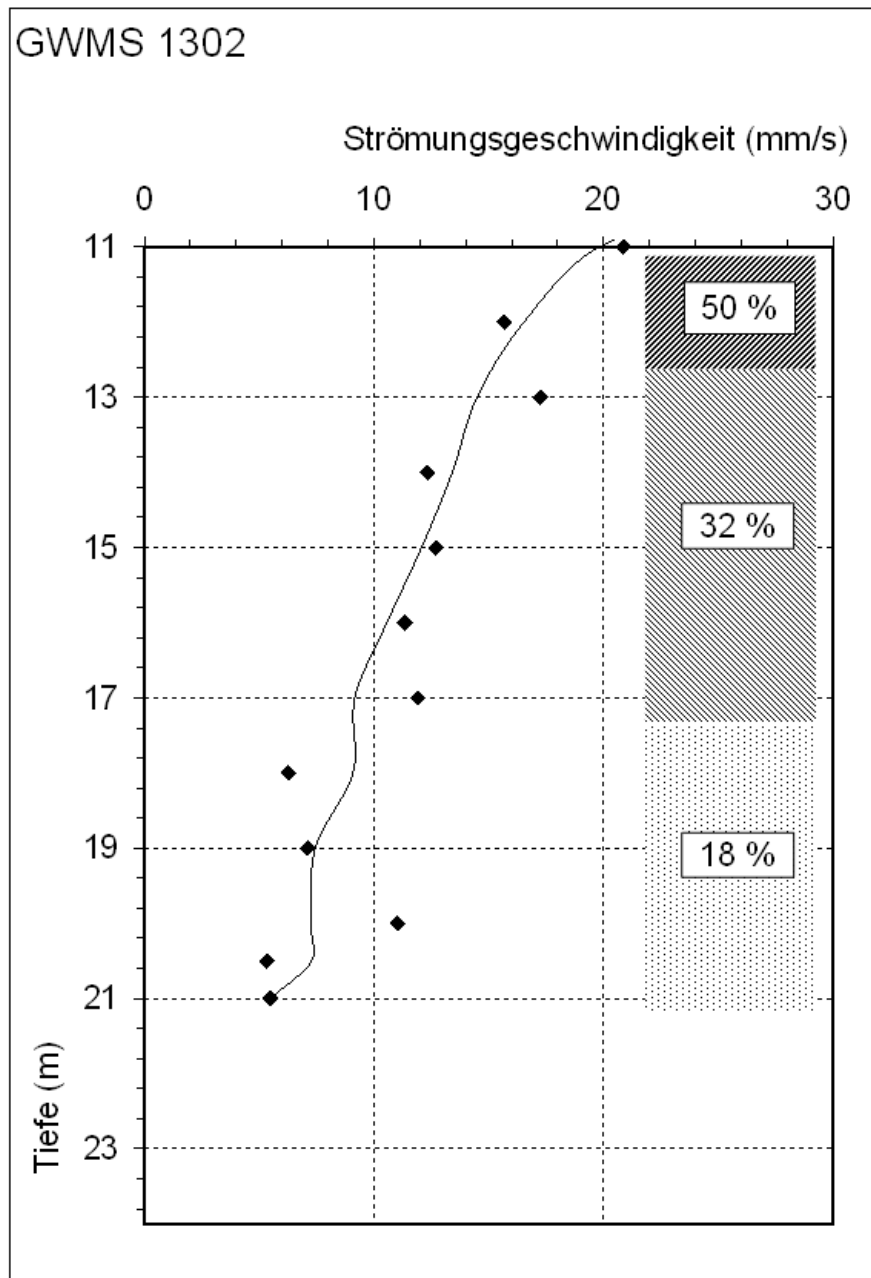
Die hier erhaltenen, übereinstimmenden Ergebnisse stehen in Widerspruch zu einer früheren, horizontierten Probennahme mit einem Zweipumpenverfahren, in der diese Tiefenverteilung nicht derart deutlich erkannt werden konnte (siehe Tabelle 11). Nach dieser Untersuchung sieht es so aus, dass die höchsten Konzentrationen klar im oberen Bereich der Messstelle liegen und im unteren Teil - wenn überhaupt - nur eine geringe Zunahme im Vergleich zum mittleren Bereich erkennbar ist. Beim Institut für Hygiene ergab sich die Besonderheit, dass die Gerätekonfiguration zur Bestimmung von CKW auf niedrige Konzentrationen ausgerichtet war. Dies führte bei den ersten Proben zu Befunden jenseits des linearen Bereichs des Analysensystems. Daher wurden die Proben im Bereich von 11 bis 16 m für die Parameter cis-Dichlorethen und VC mit >100 angegeben. Dieses Problem hätte vermieden werden können, da die Information über das Vorliegen sehr hoher Konzentrationen aus den Vor-Ort-Messungen vorgelegen hatte.

**Tabelle 11:** Ergebnisse einer Beprobung von Messstelle 1302 aus dem Jahr 1999 mit einer Zweipumpentechnik (genaue Tiefenlage der Entnahmehorizonte unbekannt)

Entnahmepunkt	Pumpdauer	
	15 min.	60 min.
	[µg/l]	
1302 Oben	443	405
1302 Mitte	12,2	4,1
1302 Unten	38,2	22

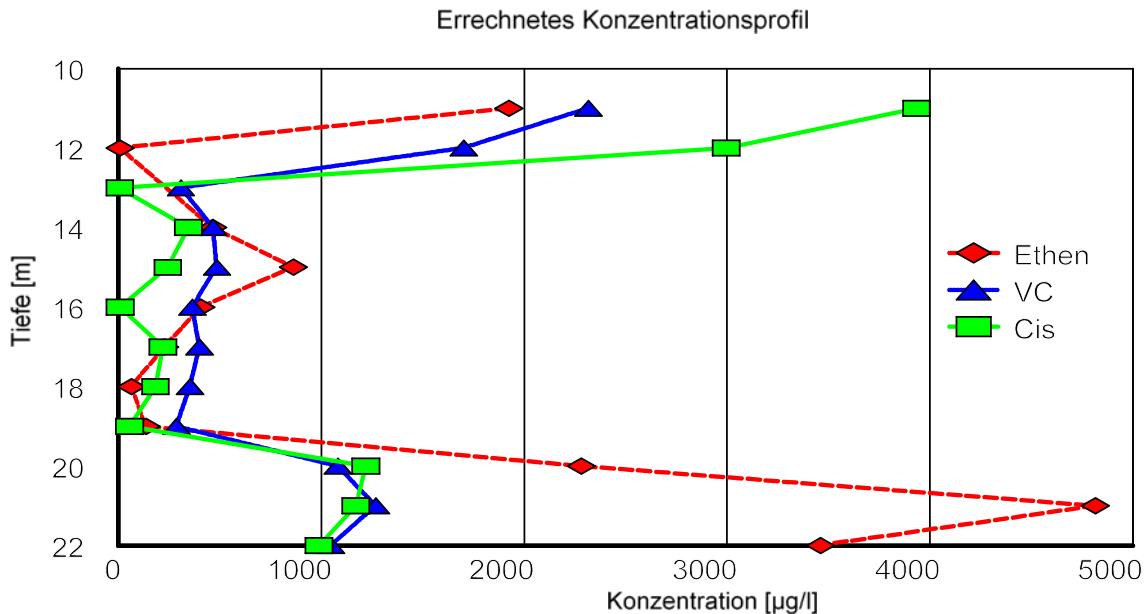
Dennoch bleiben die deutlichen Abweichungen der Messergebnisse auffällig, insbesondere die im Vergleich zu den Laborwerten deutlich höheren VC-Gehalte bei der Vor-Ort-Analytik. Dazu ist aber zu bedenken, dass mit dem hier eingesetzten GC-PID auf Grund der sehr kurzen Trennsäule nur eine unvollständige Trennung von Ethen und VC erreicht werden kann. Die Unterschiede bei den beiden Laborwerten liegen in einem Bereich, den man für solche Paralleluntersuchungen erwarten muss. Es können hier eine Reihe von Unsicherheitsfaktoren dafür verantwortlich sein, dass einzelne Werte auffällig sind. Die Unterschiede liegen aber im Allgemeinen im Bereich, den man aus Ringversuchen kennt.

Um die Misch-Konzentrationen aus den einzelnen Tiefenlagen auf die tatsächliche Konzentration des jeweiligen Entnahmehorizonts zuzuordnen, wurden zusätzlich Zuströmprofile mit dem Thermoflow-System aufgenommen. Für die Messstelle 1302 ergaben sich die in Abbildung 36 dargestellten Verhältnisse:



**Abb. 36:** Zuströmprofil der Messstelle 1302 gemäß der Thermoflowmessungen

Das Profil zeigt, dass die Zuströmung im unteren Bereich relativ gering ist und in den oberen 2 m ca. 50 Prozent des Zuflusses zutreten. Werden mit diesen Informationen die erhaltenen Mischkonzentrationen gemäß Gleichung (3) auf die jeweiligen Horizonte umgerechnet, ergibt sich folgende Konzentrationsverteilung in der Messstelle 1302 (siehe Abbildung 37):



**Abb. 37:** Aus Zuströmprofilen und Mischkonzentrationen errechnetes Konzentrationsprofil Messstelle 1302

## Fazit

In dieser Feldaktion konnten die Vorteile des Zusammenspiels des CKW-Probennehmers, des Thermoflow-Systems und einer schnellen Vor-Ort Analytik mit dem mobilen GC-PID klar demonstriert werden. Es konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass am Standort nicht nur im oberen Bereich eine Kontamination vorliegt, sondern auch in einer Tiefe unterhalb von 20 m deutliche Schadstoffkonzentrationen vorliegen.

Der Standort mit den besonderen Verhältnissen einer zweigeteilten Schadstoffsituation hat sich als ideal für die angewandte Erkundungsstrategie erwiesen. Dass diese Verhältnisse trotz umfangreicher, früherer Erkundungen unbekannt waren, unterstreicht die Qualität der Vorgehensweise.

## 5.2.4 Standort in Kiel

### Ziel

Der Standort in Kiel zeichnet sich durch das Vorliegen von oberflächennahen NAPL-Phasen in Form von auf dem Grundwasser aufschwimmenden, dieselähnlichen Ölphasen aus. Dieser Standort sollte daher genutzt werden, um den an ein Rammgestänge gekoppelten NAPL-Sensor im Feld zu testen.

### Standortbeschreibung



Abb. 38: Lageplan Standort Kiel-Wik

Der Standort liegt am Osteingang des Nord-Ostsee Kanals und wurde im zweiten Weltkrieg als Treibstofflager genutzt. Durch Bombenangriffe und andere Umstände gelangten große Mengen an Treibstoffe für Schiffe und U-Boote in den Untergrund, wo sie jetzt erhebliche Kontaminationen durch aufschwimmende Ölphase verursachen. Trotz einer laufenden Sanierung, bei der erhebliche Mengen an Phase gefördert werden, erschien der Standort ideal, um die Lage der Schadstoffphase mit dem NAPL-Sensor zu erfassen. Ein weiterer Vorteil war die gute Zugänglichkeit, da der Betreiber des Kanals als Standortbesitzer sich als sehr kooperativ zeigte.

## Vorgehensweise

Anhand von Vorinformationen aus früheren Erkundungen sollte die nur unvollständig bekannte Lage der Phasenkörper auf dem Gelände erfasst werden durch systematisch festgelegte über das Gelände verteilte Bohrpunkte. Wegen der geringen Mächtigkeit der ungesättigten Zone (3-4 m) und des vorwiegend sandigen Untergrunds sollte es möglich sein, in relativ kurzer Zeit eine Sondierung bis zum Grundwasser niederzubringen. Da das Messsystem nur die An- oder Abwesenheit von Schadstoffphase anzeigen kann (optisches Signal verursacht durch Änderung des Brechungsindex des umgebenden Mediums) sollte das Gelände mit Längs- und Querprofilen untersucht werden. Abbildung 39 gibt einen Eindruck von Standort.



**Abb. 39:** Standort Kiel-Wik (links: Blick nach Süden mit Treibstofflager, rechts: Blick nach Norden mit Nord-Ostsee Kanal)

## Ergebnisse

Beim Einrammen der Sensorspitze in den Untergrund sprach die optische Anzeige bereits im ersten Meter an. Nach Ziehen der Sonde wurde festgestellt, dass die Vergussmasse, mit der die Elektronik in der Spitze fixiert war, sich teilweise aufgelöst hatte und die Kabelzuführungen teilweise abgerissen waren (Abbildung 40).





**Abb. 40:** Abgerissene Kabelzuführung durch beschädigte Vergussmasse

## Fazit

Als Ergebnis der Tests zeigte sich, dass das NAPL-System für die mechanische Beanspruchung beim Rammen offensichtlich ungenügend ausgelegt war und eine grundlegende Überarbeitung benötigt.

Der Standort Kiel-Wik hingegen erwies sich als Teststandort mit gravierenden, gut erreichbaren Ölphasen auf dem Grundwasser und den sehr kooperativen Betreibern als bestens geeignet (siehe Messungen mit einem Phasenmessgerät in vorhandenen Grundwassermessstellen, Abbildung 41). Dieser Eindruck wird unterstützt durch eine vorhandene



**Abb. 41:** Ölphase an Phasenmessgerät

gute Infrastruktur.

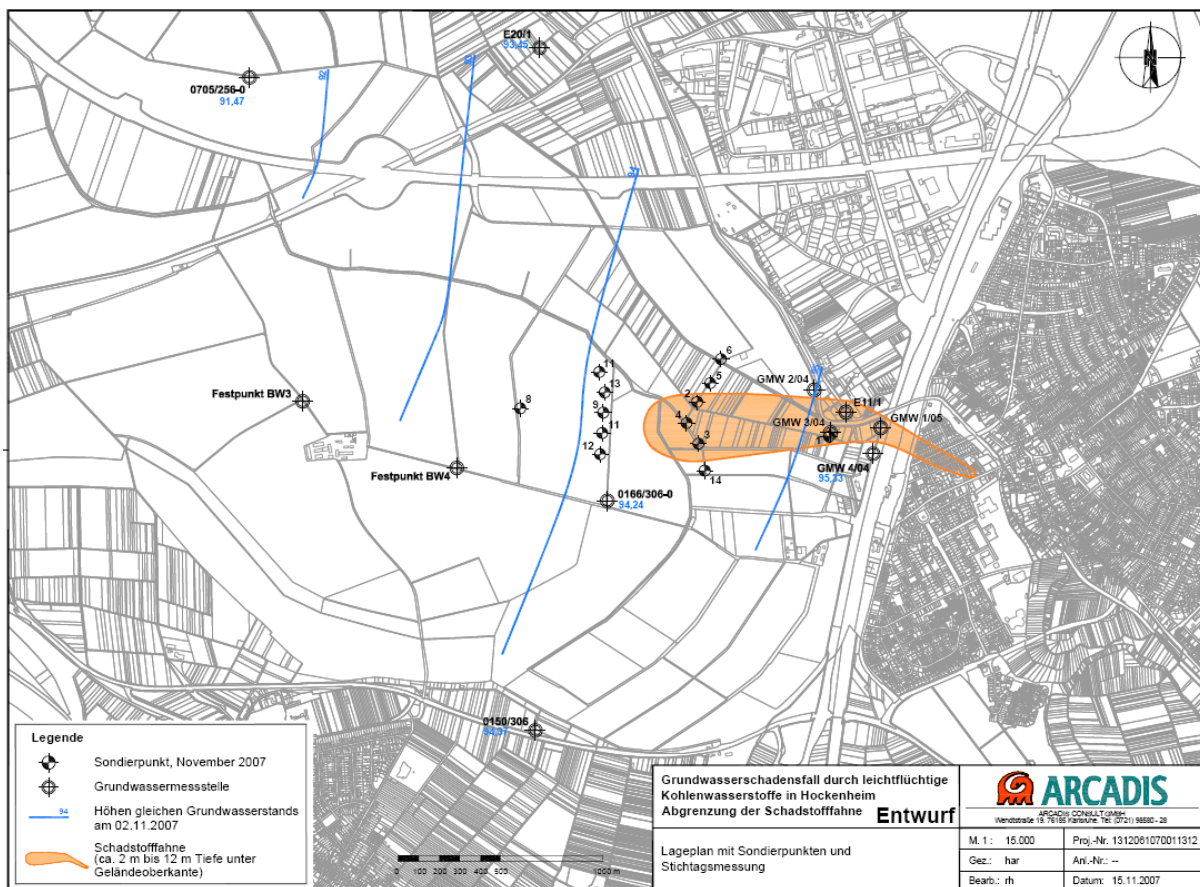
### **5.2.5 Standort in Hockenheim**

#### **Ziel**

Ziel dieses Messeinsatzes war die Demonstration der Erkundungsstrategie mittels temporärer Messstellen und des Einsatzes des mobilen GC-PID Systems eine Fahnen-erkundung im Abstrom eines CKW-Schadens vornehmen zu können. Wichtig war es hier, durch die sofortige Verfügbarkeit von Konzentrationswerten, die weitere Erkundung steuern zu können. Außerdem sollte der Einsatz genutzt werden, um die neu in das Thermoflow-System integrierte Temperaturmessung zu testen.

#### **Standort und Vorgeschichte**

Auf dem Gelände einer ehemaligen chemischen Reinigung fand über Jahre ein erheblicher CKW-Eintrag in den Untergrund statt. Der Boden und das Grundwasser im Herdbereich wurden zwar ab dem Frühjahr 2000 saniert, die Sanierung jedoch wegen der Insolvenz des Zustandsstörers bei einer Restbelastung von etwa 40 µg/L CKW abgebrochen. Da im Abstrom des Geländes eine siebenfach höhere Konzentrationen vorgefunden wurde, lag der Verdacht nahe, dass sich ausgehend vom Schadensherd eine CKW-Verunreinigung im Grundwasser als Schadstofffahne ausgebreitet hatte. Das Landratsamt des Rhein-Neckar-Kreises erteilte daraufhin der Fa. ARCADIS Consult im Jahre 2003 den Auftrag, eine Eingrenzung der Schadstofffahne durchführen. Es sollten unter anderem die insgesamt abströmenden Schadstofffrachten ermittelt sowie die Auswirkungen auf ein unterstromig gelegenes Naturschutzgebiet abgeschätzt werden. Abbildung 42 zeigt einen Lageplan des Standorts.



**Abb. 42:** Lageplan (Übersicht) der CKW-Fahne am Standort

Mittels eines innovativen Erkundungskonzeptes mit flexiblem Messraster wurde die horizontale Ausdehnung der Fahne zunächst mit begleitender Vor-Ort-Analytik eingegrenzt. Die Untersuchung wurde bereits damals in Kooperation mit VEGAS durchgeführt, wobei ein neues, photometrisches Verfahren zur Detektion der CKW zum Einsatz kam.

In einem zweiten Schritt wurden an der Spitze, im Zentrum und an den Flanken der Fahne vollkommen ausgebaute Grundwassermessstellen eingerichtet, an denen mit Hilfe horizontaler Probenahme Tiefenprofile der Schadstoffkonzentration im Grundwasser aufgenommen wurden.

Die Erkundungsmethode mit Vor-Ort-Analyse ermöglichte es damals, das Messraster flexibel an die Standortgegebenheiten anzupassen und die horizontale Ausbreitung der Schadstofffahne im oberen Grundwasserbereich (1 - 2 m unter Grundwasseroberfläche) innerhalb von 3 Feldtagen auf einer Länge von 900 m einzugrenzen.

Mittels einer weiteren Erkundungskampagne sollte nun im Jahre 2007 eine weitere

Eingrenzung unterstrom erfolgen, um die Schadstofffrachten mit potentiellm Einfluss auf das naheliegende NSG genauer ermitteln zu können. Der flexible Ansatz wurde dabei grundsätzlich beibehalten, jedoch mit einem neuen Verfahren zur Probenahme und robuster GC-Analytik umgesetzt.

### Vorgehensweise

In einem neuen, von ARCADIS entwickelten Verfahren wurden temporäre Messstellen von einem mobilen Bohrtrupp mittels Schneckenbohrgerät niedergebracht. Innerhalb der Bohrschnecke wurde ein auf 2 m schlitzverfiltertes PVC - Rohr eingebracht und die Schnecke zwei Meter gezogen (verlorene Spitze). Nachdem diese temporäre Messstelle mittels Kreiselpumpe klargepumpt war, wurde anschließend mit einer Tauchpumpe beprobt (Abb. 43). Durch schrittweises Ziehen des Gestänges mit wiederholter Beprobung nach obigem Schema konnte so das Grundwasser zwischen vier und zwölf Metern horizontiert von unten nach oben beprobt werden. Das Bohrloch wurde dabei abschnittsweise durch das anstehende, kiesige und somit sofort nachrutschende Aquifermaterial verfüllt. Das Verfahren in dieser Form ist also nur bei anstehenden Lockersedimenten durchführbar.



**Abb. 43:** Bohrarbeiten am Standort Hockenheim

Die entnommenen Grundwasserproben wurden innerhalb von 20-40 min. in ein Feld-

labor transportiert, das in den Räumlichkeiten einer nahegelegenen Zimmerei eingerichtet worden war. Die Analyse der Wasserproben erfolgte zeitnah und ohne Aufreinigung mittels eines portablen GC-PID (Fa. meta Messtechnische Systeme GmbH, Dresden) mit angeschlossenem Headspace- Autosampler (HP-7694, Abb. 44). Diese Messanordnung besteht durch die schnelle Analyse (Messung in unter 20 min.), einen weiten Messbereich sowie eine hohe Robustheit gegenüber Matrixeinflüssen und plötzlich auftretenden hohen Analytkonzentrationen, wie sie im Feld vorkommen können. Durch den zeitnahen Gewinn von Informationen über vorliegende Gehalte und die Konzentrationsverteilung im Untergrund konnte die Lage der nächsten Bohrung interaktiv mit dem Bohrtrupp abgestimmt werden. Zusätzlich zur Vor-Ort-Analytik wurden Proben für die begleitende Referenzanalytik im Labor in VEGAS abgefüllt (Headspace-GC-FID/ECD), mit Perchlorsäure gegen biologischen Abbau stabilisiert und am Abend des jeweiligen Tages ins Labor gebracht und gemäß DEV F9 analysiert. Eine der Bohrungen wurde nahe der Grundwassermessstelle GMW 3/04 niedergebracht, um das neue Verfahren vergleichend mit der herkömmlichen Beprobung betrachten zu können.



**Abb. 44:** Messplatz am Standort Hockenheim

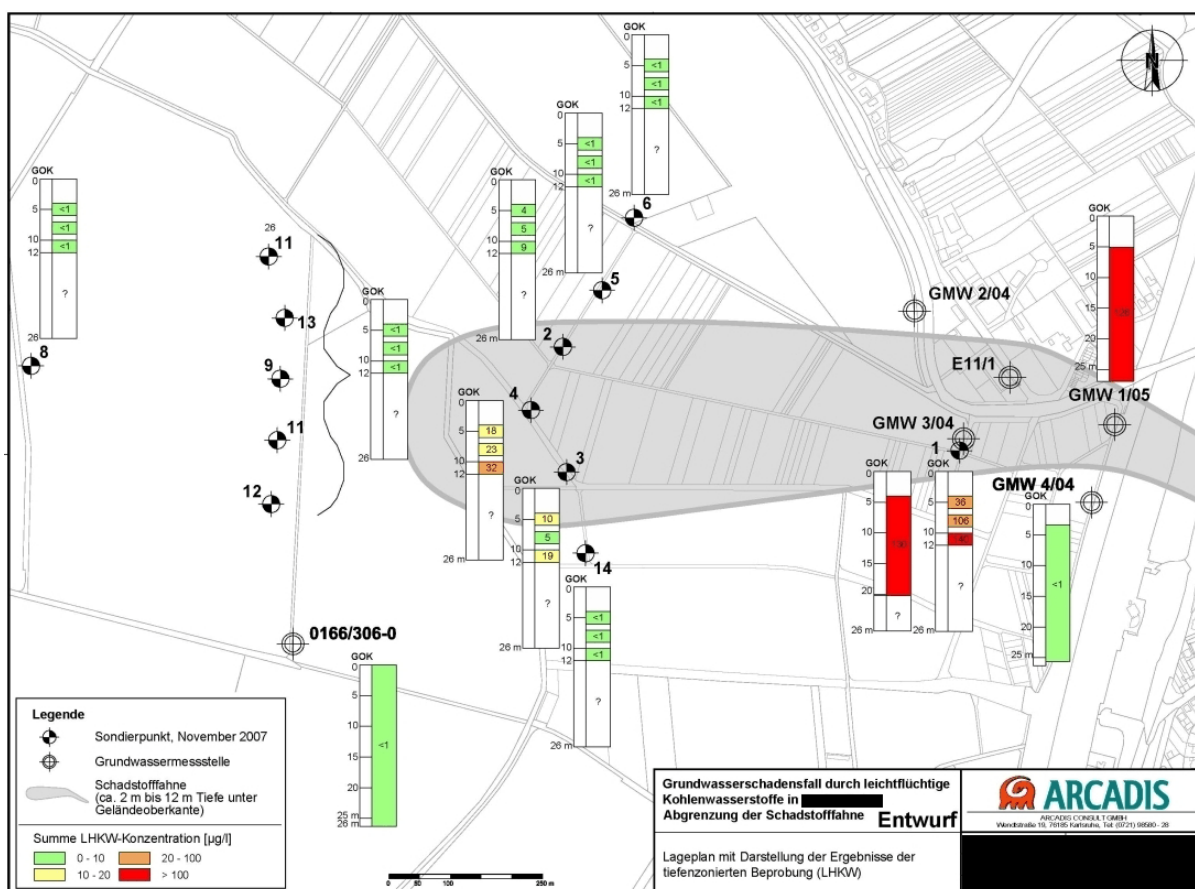
Des Weiteren wurden an den vorhandenen Grundwassermessstellen GMW Messun-

gen mit dem bei VEGAS entwickelten Thermoflow-Gerät durchgeführt. Dazu wurde jeweils im Brunnen mit Hilfe einer Tauchpumpe (Grundfos MP1, Pumprate ca. 350 L/h) eine Vertikalströmung induziert, mit der Thermoflow-Sonde in konstanter Geschwindigkeit von 20 mm/s abgefahren und die Fließgeschwindigkeit kontinuierlich aufgezeichnet. Bei dieser Anordnung erhält man idealerweise ein nach oben hin stetig ansteigendes Zuströmprofil, dessen Steigung proportional zur Leitfähigkeit der anstehenden Schicht ist.

## **Ergebnisse**

Die Vergleichsprobe (Profil 1) wies nach unten hin steigende Konzentrationen auf (36 µg/L CKW in 5 m Tiefe, 108 µg/L in 8 m, 140 µg/L in 11 m), die in größeren Tiefen gut mit der Konzentration im nahegelegenen Brunnen GMW 3/04 (130 µg/L, bis 20 m vollverfilterte Messstelle, konventionelle Probennahme übereinstimmten.

Im ersten Querriegel ca. 1,5 km unterstrom des Schadensherdes konnte die Lage der Fahne (CKW < 10 µg/L innerhalb 12 m Mächtigkeit) mit Hilfe von sechs Bohrungen auf eine Breite von ca. 330 m eingegrenzt werden. Die Gesamtkonzentrationen an CKW lagen zwischen 0 und 32 µg/L und nahmen generell nach unten hin zu (Abb. 45).

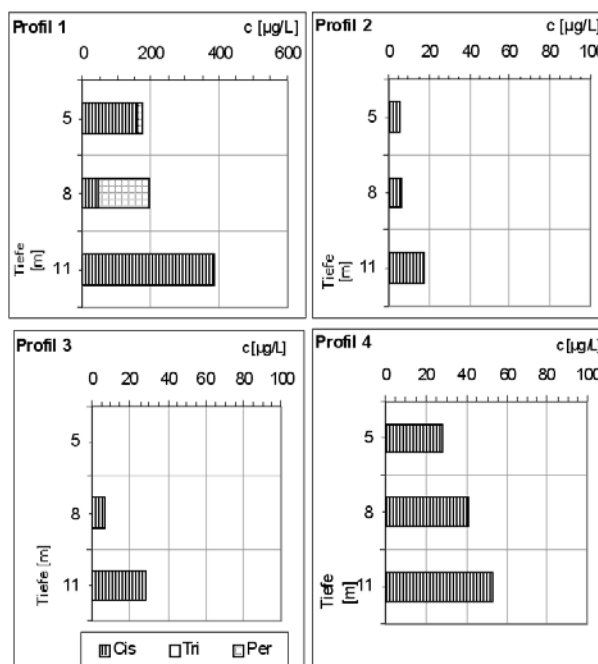


**Abb. 45:** Lage der im Nov. 2007 errichteten temporären Messstellen, sowie Konzentrationsverteilung der CKW über die Tiefe und der daraus abgeleiteten Abgrenzung der Fahne

In einem zweiten Querriegel mit fünf Bohrungen ca. 2 km unterstrom wurden nur noch Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze von  $1 \mu\text{g/L}$  gefunden, ebenso in einer zusätzlichen Sicherungs-Bohrung ca. 2,3 km unterstrom des Herdes.

Bis auf zwei Ausnahmen waren die Gesamtgehalte in allen Proben deutlich von CIS dominiert, die vier Profile mit nennenswerten Konzentrationen sind in Abb. 46 dargestellt.

Bei den Thermoflow-Befahrungen traten noch einige Probleme auf, da die überarbeitete Messanordnung mit integrierter Temperaturmessung in der Feldanwendung noch nicht stabil lief, wobei die zu-vorige Kalibrierung im Labor problemlos verlaufen war. Dies äußerte sich v.a. in



**Abb. 46:** CKW-Profile (siehe Nummern in Karte)

Stabilitätsproblemen der Bedienoberfläche, teilweisem Ausfall der Strömungsmessung (überlasteter Regelkreis), sowie abweichenden Absolutwerten zwischen Messwiederholungen. Dennoch lieferte die neu implementierte Temperaturmessung weitgehend plausible und stabile Profile und anhand der gewonnenen Daten kann eine qualitative Aussage über die Lage der gut leitenden Schichten getroffen werden (Abb. 47 und 48). Die bei diesem ersten Feldeinsatz aufgetretenen Probleme mit dem neuen System lieferten außerdem wertvolle Informationen für notwendige Veränderungen, die in der weiteren Produktentwicklung berücksichtigt werden konnten.

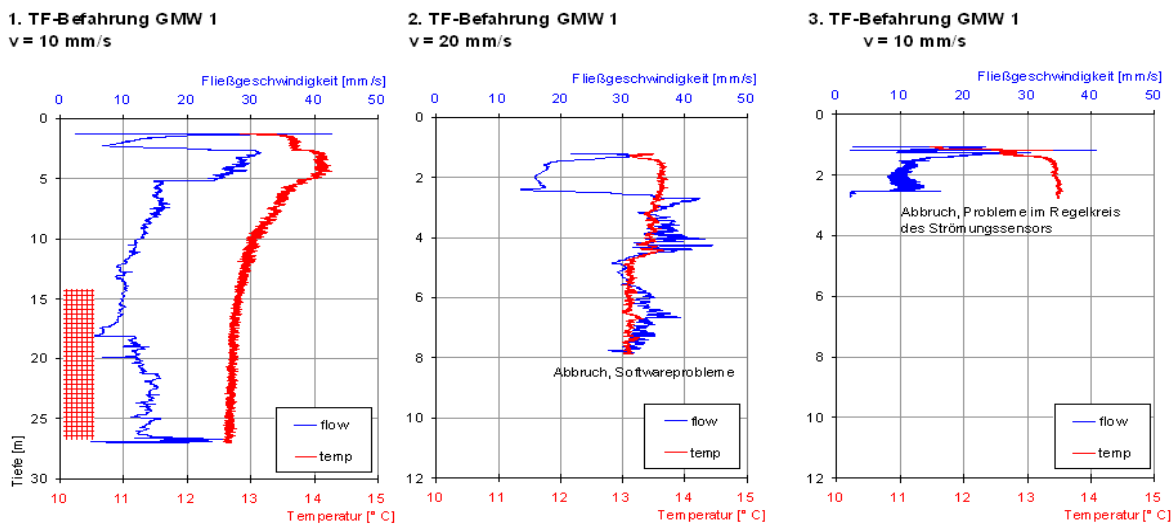


Abb. 47: Thermoflow-Messungen an Messstelle GMW1 bei verschiedenen Abfahr-geschwindigkeiten (v)

Aus beiden Strömungsprofilen geht hervor, dass unterhalb ca. 5 m uPOK (GMW1) resp. ca. 13 m uPOK (GMW3) mit einer deutlich geringeren hydraulischen Leitfähigkeit zu rechnen ist als in der darüber befindlichen Schicht. Dies deckt sich zumindest teilweise mit vorangegangenen Untersuchungen von 2004, während derer mittels Propellermessung (unter erheblich größerer Anregung des Aquifers) ebenfalls nur geringe Zuflüsse unterhalb 13 m gefunden wurden.

Für die begleitende Vor-Ort-Analytik wurden seitens VEGAS insgesamt ca. 8 Personentage aufgewendet, inklusive der nötigen Vorbereitungen wie Kalibrierung und Abgleich mit dem La-

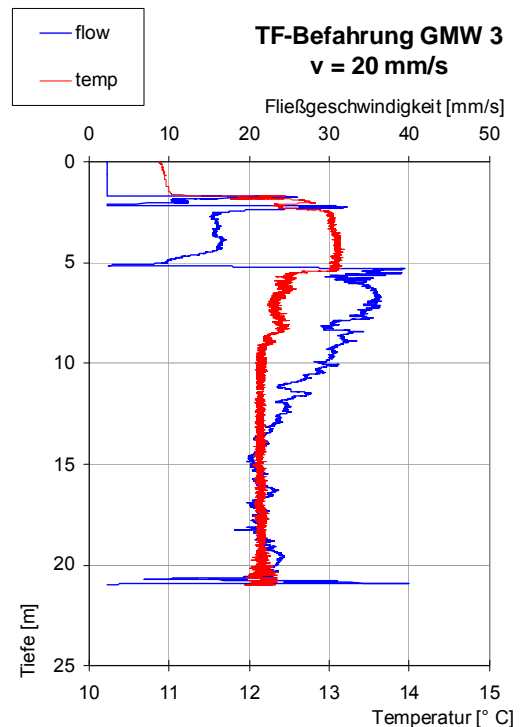


Abb. 48: Thermoflow-Messung an GMW3



bor-GC. Bei ähnlich gelagerten, späteren Anwendungen ist der personelle Aufwand etwas niedriger anzusetzen, da bereits einschlägige Erfahrungen zum Ablauf vorliegen.

## **Fazit**

Mit Hilfe von relativ einfacher und robuster Feldanalytik konnte eine sehr schnelle und kostengünstige weitere Abgrenzung der CKW-Fahne im Abstrombereich einer Wäscherei erreicht werden. Die Vorgehensweise, die zusammen mit dem Ingenieurbüro entwickelt wurde hat sich ebenso bewährt wie die Mess- und Probennahmetechnik. Für die Behörde ist nach Abschluss die dreidimensionale Lage der Fahne eindeutig und eine Auslegung eines permanenten Messfelds zur weiteren Überwachung möglich; dieses wird derzeit realisiert.

### **5.2.6 Standort in Bitterfeld**

#### **Ziel**

Ziele der Feldaktion in Bitterfeld waren:

- Test des CKW-Probennehmers im Routineeinsatz in tiefen Messstellen
- Test des neuen Thermoflow-Systems in tiefen Messstellen
- Vergleich des GC-PID-Systems gegen ein mobiles GC-MS-Gerät bei komplexen Schadstoffsituationen

Die Tests wurden im Feld durchgeführt, weil die Verhältnisse in tiefen Messstellen im Labor nur mit hohem Aufwand nachgebildet werden können. Für den Probennehmer hatten die Messstellen in Bitterfeld den weiteren Vorteil, dass die Verfilterung weit unten liegt, d.h. die Konzentrationen bis 23 m (Kabellänge des Probennehmers) sich nicht ändern sollten. Für den Vergleich des einfachen GC-PID mit dem weitaus aufwendigeren und teureren GC-MS-Systemen schien die Komplexität der Schadstoffzusammensetzung am Standort Bitterfeld sehr gut geeignet zu sein.

#### **Standort und Vorgeschichte**

Der Standort Bitterfeld wurde in den vergangenen Jahren vom Umweltforschungszentrum Leipzig und anderen Forschungseinrichtungen im Rahmen des BMBF-For-

schungsschwerpunkt "SAFIRA" intensiv untersucht und mehrere Modellsanierungsanlagen installiert (Weiß et al., 1997, und Weiß et al., 1999). Als Folge der vielfältigen Untersuchungen sind dort eine große Zahl von Grundwassermessstellen unterschiedlichster Bauart und Ausstattung vorhanden (siehe Übersichtsplan Abbildung 49). Außerdem sind dadurch die Untergrund- und Schadstoffverhältnisse am Standort bestens bekannt.

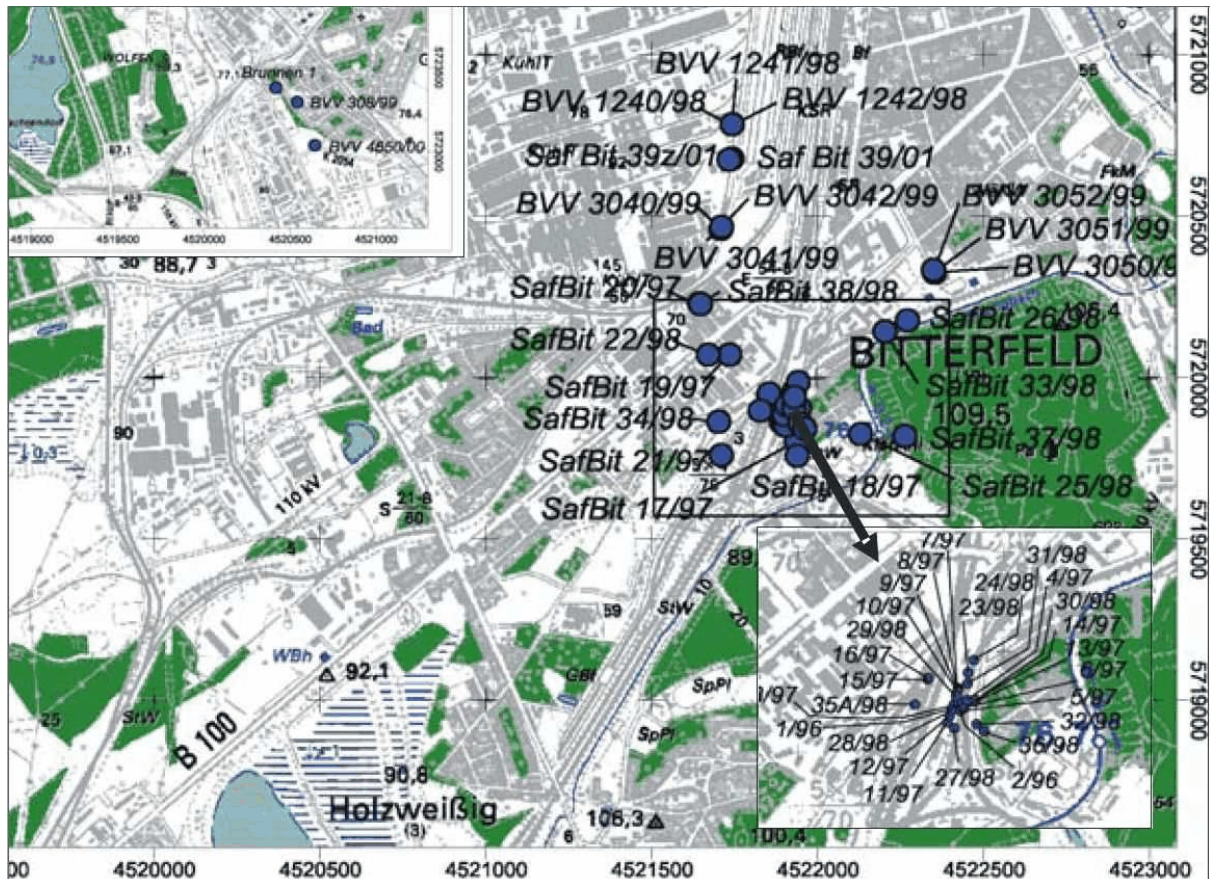


Abb. 49: Übersicht SAPHIRA-Gelände mit Messstellen

Der Großraum Bitterfeld/Wolfen ist wesentlich geprägt einerseits durch Schadstoffeinträge in das Grundwasser von Betriebsflächen und Deponien über einen Zeitraum von ca. 100 Jahren, andererseits durch die Aktivitäten des Braunkohleabbaus. Das Grundwasser ist im Bereich der Chemiebetriebe bereits großräumig verunreinigt, wobei räumlich differenziert nach Schadstoffart und Belastungshöhe betrachtet werden muss. Weiterhin existieren eine Reihe lokaler Grundwasserverunreinigungen. Im Bereich der Sanierungsanlage, wo die hier beschriebene Messkampagne durchgeführt wurde, ist neben verschiedenen CKW Chlorbenzol der dominierende Schadstoff, der im Grundwasser in Konzentrationen über 10 mg/l gefunden werden kann.

## Vorgehensweise

Diese besondere Konstellation mit so vielfältigen Messstellentypen und Kontaminanten sollte für das Projekt genutzt werden, um den CKW-Probennehmer (Abbildung 52) bezüglich der Handhabung bei tiefen Messstellen (Grundwassermächtigkeit bis 30m) und dichten Beprobungsintervallen zu testen. Das Thermoflow-System, das kurz zuvor als Vorserienmodell von Der Firma Berghof aufgelegt worden war, galt es im Routineeinsatz und ebenso in tiefen Messstellen zu testen (Abbildung 53). Schließlich sollte ein direkter Vergleich zwischen dem GC-MS System von Bruker und dem relativ einfachen mobilen GC-PID System angestellt werden für konventionelle Grundwasserproben und im Zusammenspiel mit dem CKW-Probennehmer.



Abb. 50: Messplatz GC-PID



Abb. 51: Messplatz GC-MS



Abb. 52: CKW-Probennehmer im Einsatz

Eine Besonderheit dieses Standorts ist das Betriebsgebäude mit Analytiklabor, das für die Messungen genutzt werden konnte, indem die gaschromatographischen Messgeräte (mobiler GC-PID und MS2) im Gebäude aufgestellt werden konnten (siehe Abbildungen 50 und 51).

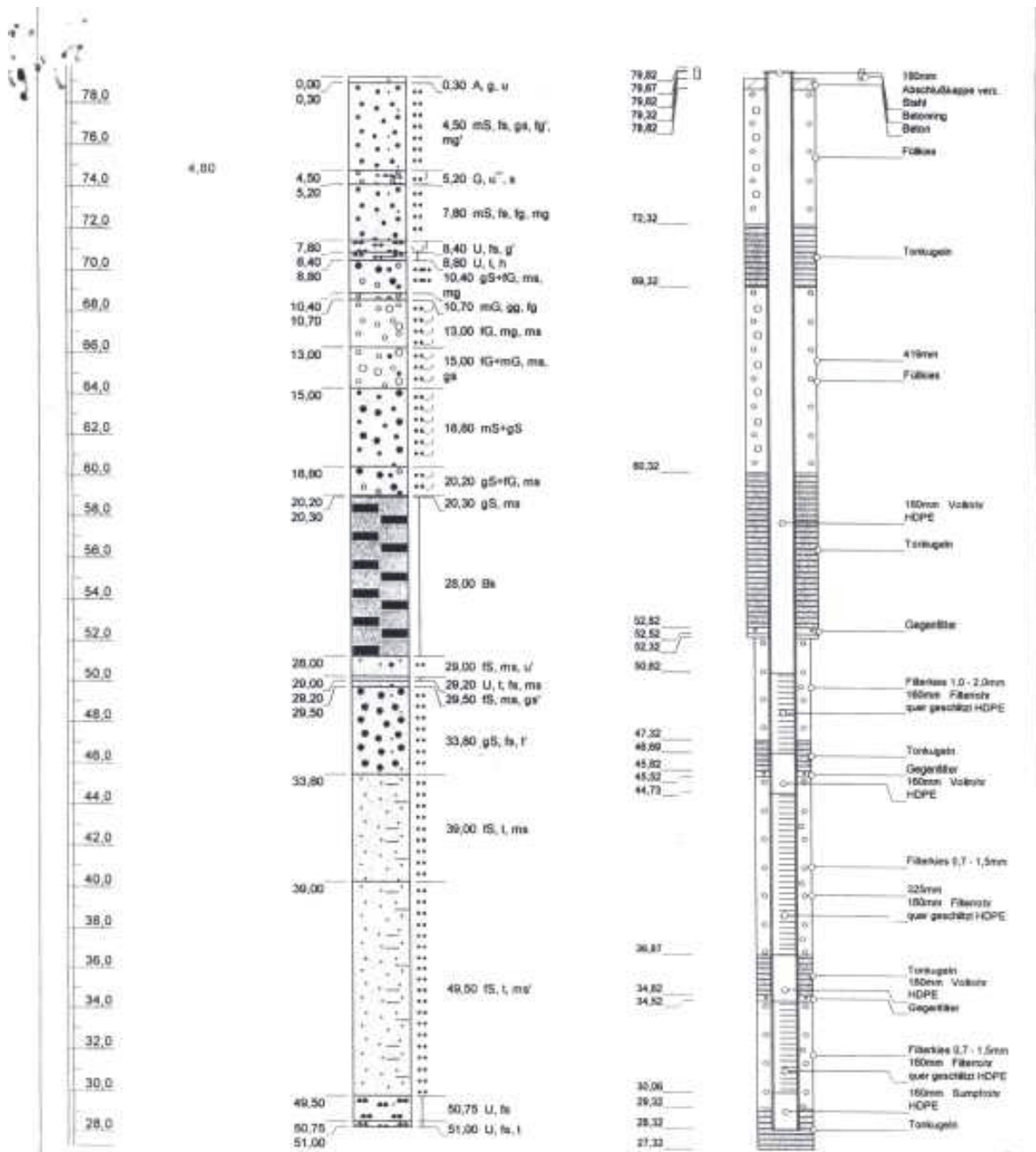
## Ergebnisse

Mit dem **Probennnehmer** wurden im Bereich zwischen 5 und 23 m zehn Proben aus einer 51 m tiefen Fünzfzoll-Messstelle (SafBit 2/96, Ausbau siehe Abbildung 54) innerhalb von nur einer Stunde entnommen.

Die Messstelle wurde eine Stunde vor und während der Probennahme abgepumpt. Die Einhängtiefe der Pumpe betrug 5 m. Die entnommenen Proben wurden Vor-Ort direkt mit dem GC-PID gemessen. Abbildung 55 zeigt die ermittelten Benzolkonzentrationen über die Tiefe. Trotz eines Einbruchs bei 9 m erhält man eine sehr homogene Konzentration über die Tiefe (Variationskoeffizient: 14 %). Die Konzentration sollte sich eigentlich über die Tiefe nicht ändern, da die Filterstrecken der Messstelle unterhalb des tiefsten Probennahmepunktes liegen (siehe Ausbau).



**Abb. 53:** Thermoflow-System am Standort Bitterfeld

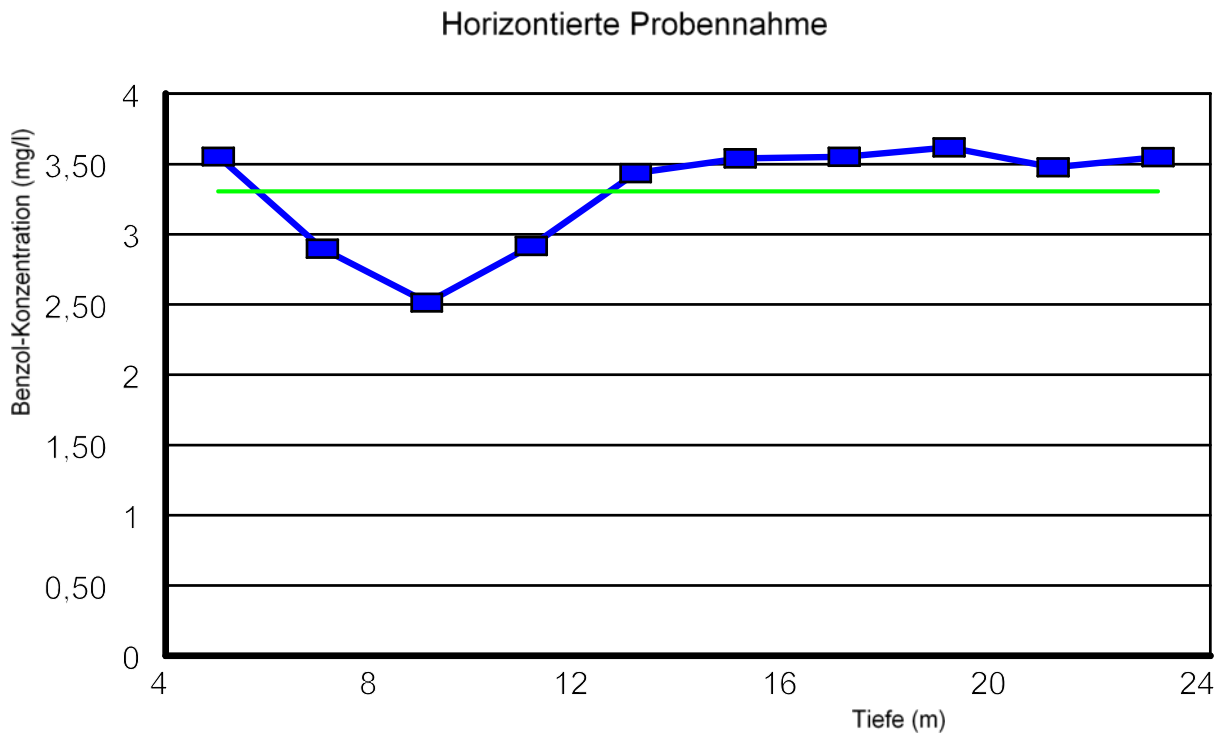


Höhenmaßstab: 1:275 Horizontmaßstab: 1:10

Blatt 1 von 1

Projekt: SAFIRA	
Bohrung: SafBit 2/96	
Auftraggeber: UFZ Leipzig Halle	Rechtswert: 4521943
Bohrfirma: BBM Benndorf	Hochwert: 5719900
Bearbeiter: Fake/Böhme	Ansatzhöhe: 79,32m
Datum: 17.06.1998	Endtiefe: 51,00m

Abb. 54: Ausbauplan Messstelle 2/96



**Abb. 55:** Benzolprofil mit CKW-Probennehmer

Beim Einsatz des **Thermoflow-Systems** offenbarten sich bereits bei der ersten Messstelle Probleme, da in einer Tiefe von ca. 20 m die Signale plötzlich unplausible Ausschläge zeigten. Eine Überprüfung zeigte, dass die Kopfdichtung, die einen Wasserzutritt zur Elektronik verhindern sollte, falsch ausgelegt war. Beim Öffnen des Sondenkopfs war deutlich Feuchtigkeit an der Platine zu erkennen; ein weiterer Einsatz des Geräts war damit nicht möglich. Auf Grund dieser Befunde wurde die Kopfdichtung überarbeitet und in eine verbesserte Version integriert.

Die **GC-PID Gerätekonfiguration** mit dem Headspace-Autosampler zur schnellen Vor-Ort-Analytik von Grundwasserproben hat sich bewährt. Trotz des komplexen Schadstoffcocktails am Standort, für den die sehr geringe Trennleistung einer gepackten Säule normalerweise nicht ausreicht, konnten die Leitsubstanzen Chlorbenzol und Benzol mit sehr guter Übereinstimmung mit dem sehr viel leistungsfähigeren GC-MS System identifiziert und quantifiziert werden. Nach einer Dauer von ca. 30 Minuten für die Inbetriebnahme war das System einsatzbereit. Den Zweck der schnellen Bestimmung von Grundwasserproben Vor-Ort hat die Konfiguration mit Headspace-Autosampler und mobiler GC-PID voll erfüllt. Bezüglich der Trennleistung und der Identifizierung von unbekanntem oder nur in geringen Konzentrationen vorhandenen Stoffen hält das System einem Vergleich zu einem Labor-Gerät oder zum GC-MS System nicht stand. Dies ist aber von der Konzeption auch nicht beabsichtigt.

## **Fazit**

Das Probennahmesystem sowie das GC-PID System haben sich voll bewährt. Für das Thermoflow-Gerät war der Test für die Beseitigung eines Designfehlers wichtig. Generell ist der SAPHIRA-Standort für Gerätetests dank seiner vielfältigen Ausstattung mit verschiedensten Messstellentypen und -Tiefen, der unproblematischen Zugänglichkeit und der dort vorhandenen Infrastruktur hervorragend geeignet.

### **5.2.7 Standort bei Mainz**

#### **Ziel**

Das grundsätzliche Untersuchungsziel bestand im Einsatz schneller Bodenluftmesstechniken zur weitergehenden Schadenseingrenzung von Kohlenwasserstoffkontaminationen auf bzw. im Umfeld zum Standort.

Ein weiteres Ziel bestand in der Erprobung von Vor-Ort-Messtechniken zur Erfassung des Ausbreitungsverhaltens von MKW-Kontaminationen unter Substitution komplexer Einzelstoffbestimmungen durch summarische Messgrößen. Durch eine begleitende Laboranalytik mittels entsprechender Probennahmen sollten die über Vor-Ort-Messtechniken gewonnenen Aussagen überprüft werden.

Entsprechend der analytischen Zielstellung nach der Schadherdsuche und dem vorgegebenen Kontaminationsprofil waren die Anwendung der MOX-Box von VEGAS, des VEGAS-Faserfluorometers und der sondierfähige Ramm-GC der TU Hamburg-Harburg vorgesehen. Begleitend wurden Untersuchungen mit dem GC-MS System der Firma Bruker durchgeführt, auch mit dem Ziel, schnelle Referenzdaten zu den summarischen Messgrößen der anderen Messsysteme zu erhalten.

#### **Standortbeschreibung**

Der Sondierbereich erwies sich entgegen den ersten Begehungen als ziemlich komplex und schwierig. Besondere Schwierigkeiten ergaben sich aus der Vielzahl vorhandener Leitungssysteme (20KV-Erdkabel, Signalleitungen der DB, Telefonleitungen, Wasserleitungen) mit nicht zuverlässig bekannter Lage und hochverdichteten Auffüllen. Deswegen mussten aus sicherheitstechnischen Gründen an allen Sondierpunkten außerordentlich zeitaufwändige und so nicht vorgesehene Handschachtungen bis >1,50m vorgenommen werden.

Von Seiten des Auftragsgebers wurden während des Messverlaufes Änderungen in der Anlage von Sondierpunkten gewünscht. Das war ebenfalls mit einem erheblichen zeitlichen Mehraufwand verbunden.

Abbildung 56 zeigt einen Lageplan mit der dichten industriellen Nutzung des Areals. Die Untersuchungsfläche befindet sich südlich der markierten Bahnlinie.

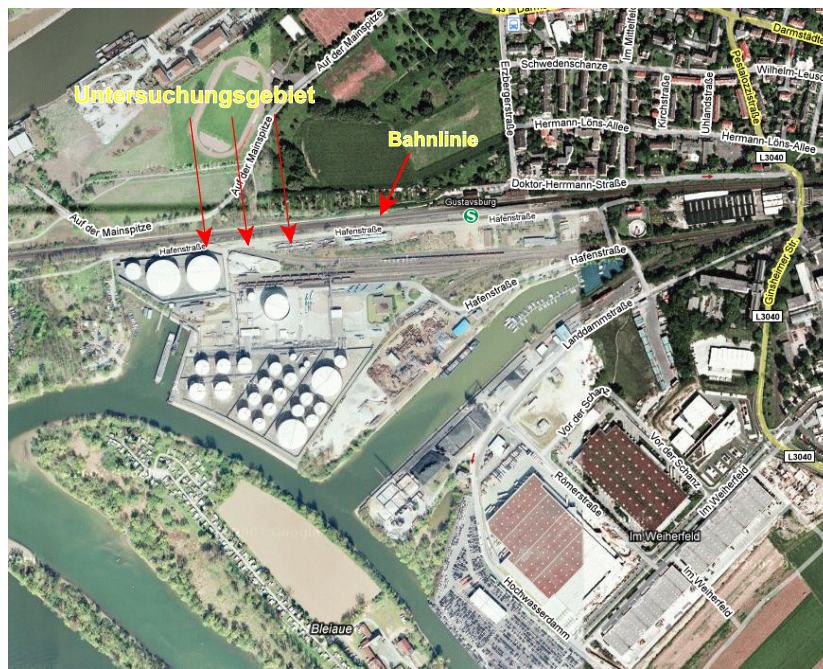


Abb. 56: Lageplan der Untersuchungsgebiets

## Vorgehensweise

Entsprechend der Vorkenntnisse wurde versucht, entlang der südlichen Seite der Bahnlinie den kontaminierten Bereich mittels Bodenluftmessungen einzugrenzen. Dadurch dass mehrere Messsysteme mit unterschiedlich detaillierten Ergebnisqualitäten parallel eingesetzt wurden, wurde versucht, die Aussagekraft der einzelnen Systeme gegeneinander abzuwägen. Es sollten also mit diese Feldaktion auch für die strategischen Aspekte im Vorhaben Informationen gesammelt werden.



## Ergebnisse

Es stellte sich im Verlauf der Aufschlussarbeiten heraus, dass die zur Verfügung stehenden Leitungspläne unzuverlässig waren. Dies führte dazu, dass vor jeder Sondierung eine Handschachtung bis in eine ausreichende Tiefe vorgenommen werden musste. Dies verzögerte die Sondierarbeiten erheblich. Auch das angetroffene Aquifermaterial stellte sich für Bodenluftuntersuchungen als nur bedingt geeignet heraus. Abbildung 57 (rechts unten) gibt einen Eindruck vom angetroffenen Material, das auf Grund der Bindigkeit kaum Bodenluftmessungen erlaubte.



**Abb. 57:** Aufschlussarbeiten Standort bei Mainz (oben links: Sondierung mit VEGAS MOX-System, oben rechts: Sondierung mit in-situ GC Uni Hamburg-Harburg, unten links: Messbetrieb MOX-Sonde, unten rechts: Bodenprobennahme für Laboranalytik mit Aquifermaterial)

Trotz der eher ungünstigen Bedingungen konnten mit der MOX-Sonde und dem Ramm-GC der Universität Hamburg-Harburg in unmittelbarer Nähe des am höchsten belasteten Sondierpunktes Tiefenprofile aufgenommen werden (die beiden Sondierpunkte lagen ca. 1 m auseinander und etwa 0,5 m von einer temporären Grundwassermessstelle entfernt. Da die MOX-Sonde mit Benzol kalibriert wurde, erfolgte die

Auswertung der Summe detektierbarer Substanzen in Benzoläquivalenten. Das ist eine Vorgehensweise, wie sie bei der Kalibrierung von handgehaltener PID-Messtechnik üblich ist. Für den Ramm-GC konnten die Signale in Konzentrationseinheiten der kalibrierten BTX-Aromaten angegeben werden.

Abbildung 58 zeigt die beiden Profile im Vergleich. Man erkennt, dass im Falle der MOX-Sonde im oberen Bereich tendenziell höhere Befunde aufweist als der Ramm-GC. Übereinstimmend hingegen ist die Aussage, dass unterhalb von einer Tiefe von 4 Metern die Bodenluftbelastung stark zunimmt.

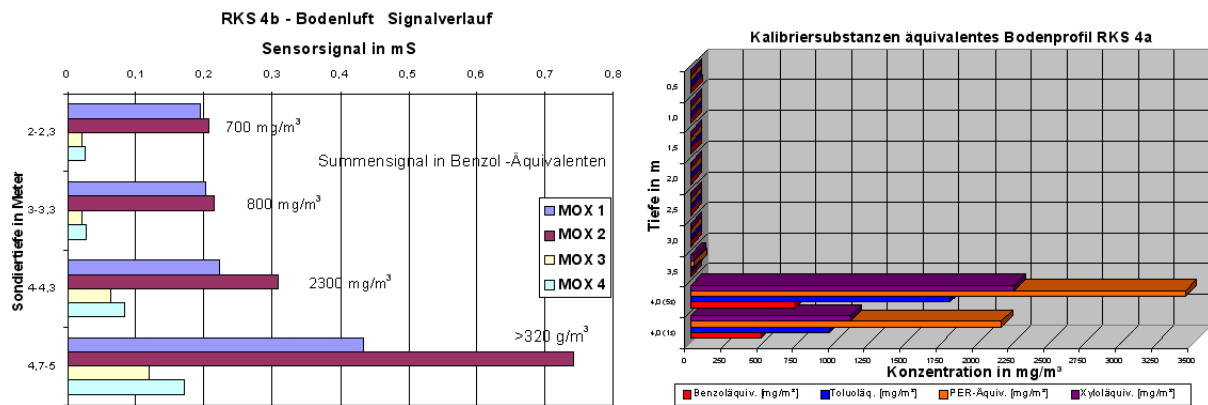


Abb. 58: Vergleich der Tiefenprofile der MOX-Sonde (links) und des Ramm-GC (Uni Hamburg-Harburg) (rechts)

Eine Labormessung einer Grundwasserprobe auf den MKW-Index (DEV H53) ergab ein Chromatogramm, das überwiegend leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (< C10) anzeigte (Abbildung 59).

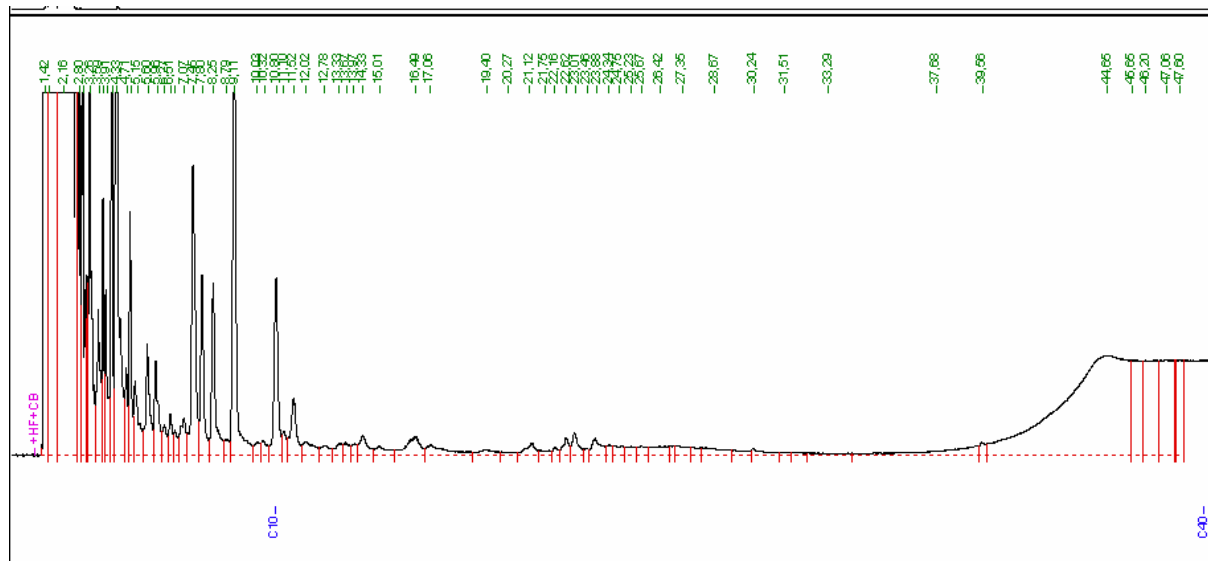


Abb. 59: GC-FID Chromatogramm einer Wasserprobe zwischen den Sondierpunkten des MOX-Systems und des Ramm-GC

## **Fazit**

Die ursprünglichen Ziele der Aktion konnten wegen der beschriebenen Probleme nur teilweise mit den eingesetzten Messsystemen erreicht werden. Ein Hauptgrund war es, dass die Sondierarbeiten mit den handgehaltenen Geräten einen erheblichen Zeitaufwand erforderten. Die unklare Lage von Leitungen im Untergrund erschwerten diese Arbeiten noch. Dazu kam, dass die angetroffenen Aquifermaterialien für Bodenluftuntersuchungen weitgehend ungeeignet waren. Schließlich wurden im Verlauf der Arbeiten die Ziele der Messaktion von der anwesenden Behörde weg von der reinen Identifikation von Hot-Spots hin zu Informationen über die Zusammensetzung des Schadstoffspektrums am Standort verschoben. Dies was mit dem MOX-System, aber auch mit dem Ramm-GC, prinzipiell nicht zu leisten.

Als Resumé lässt sich ableiten, dass die Verbindung von Verifizierungen und Erkundungen von Standorten, über die nur wenig Vorinformationen vorliegen, in aller Regel wenig zielführend für die Verifizierungen von neuen Messtechniken ist. Solche Verifizierungen verlangen Standorte mit möglichst genau bekannten Randbedingungen und eine klare Zielstellung.

### **5.3 Messungen im VEGAS Großbehälter**

#### **Ziel**

Im Nachgang zu den Versuchen, die Probennahmesysteme der Fa. imw in Bydgoszcz, Polen, zu verifizieren und den Problemen, die dabei in Bezug auf die Ermittlung von belastbaren Referenzwerten auftraten, wurde ein Messfeld im VEGAS-Großbehälter mit der Probennahmetechnik ausgestattet und entsprechende Versuche durchgeführt. Ziel war es, gut kontrollierbare Rahmenbedingungen zu schaffen, unter denen verlässliche Referenzwerte erzeugt werden können. Außerdem sollten durch Wiederholmessungen statistische Aussagen möglich werden. Schließlich sollte die Gelegenheit genutzt werden, um den Stellenwert von Laboruntersuchungen in großem Maßstab und unter streng kontrollierten Bedingungen in Verifizierungsverfahren unterstrichen werden.

#### **Standortbeschreibung**

Da Untergrundverhältnisse im Feld selbst im Idealfall nur mit einer hohen Unsicherheit bestimmt werden können, sind Feldtests in den meisten Fällen ungeeignet, Technolo-

gien zur Erkundung gegen belastbare Referenzwerte zu testen. Daher wurde in diesem Projekt ein Versuch unter kontrollierbaren Referenzbedingungen in einem Modellaquifer im VEGAS Großbehälter durchgeführt. Der Behälter hat eine Größe von (B x H x T) 8 m x 6m x 4,5 m und ist mit 378 regelmäßig verteilten Probennahmestellen ausgestattet, die sich an der Seite des Behälters befinden und für die Referenzprobennahme und -analytik herangezogen werden können (Abbildung ).

Der Modellaquifer besteht aus fein-bis grobsandigem Material, das in fünf parallelen, um ca. 5° in Strömungsrichtung fallenden Lagen eingebaut ist (siehe Abbildung 60). In vorangegangenen Versuchen im Behälter wurden hydraulische Leitfähigkeiten und effektive Porositäten für die einzelnen Schichten mittels Tracerversuchen bestimmt, die in Tabelle zusammengestellt sind.

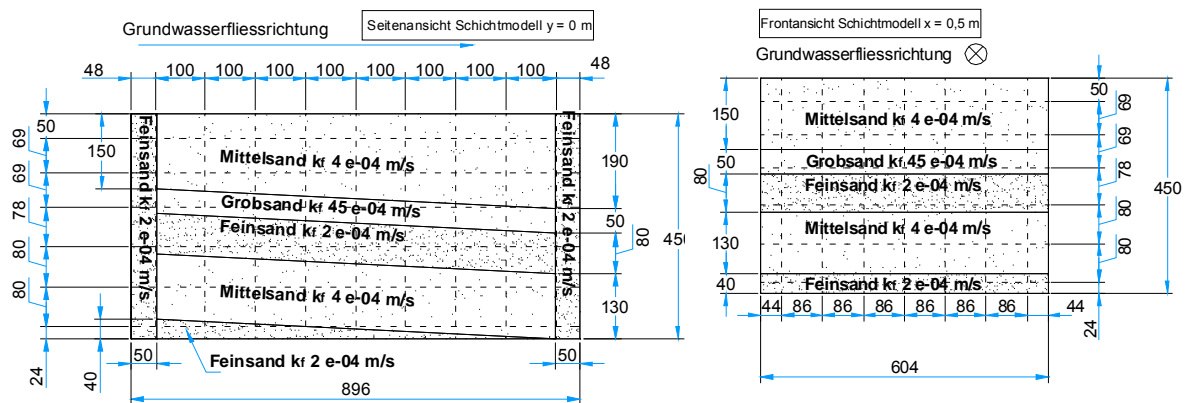


Abb. 60: Aufbau VEGAS Großbehälter, links: Seitenansicht, rechts: Kopfansicht

Tabelle 12: Hydraulische Kenndaten des verwendeten Schichtmodells im VEGAS-Großbehälter

Schicht	Höhe (m)	kf_exp (m/s)	n_eff	v_a (m/d)	Verweilzeit (d)
Feinsand	0.20	3.2E-04	0.34	0.91	8.7
Mittelsand	1.30	1.2E-03	0.29	4.00	2.0
Feinsand	0.80	3.2E-04	0.34	0.91	8.7
Grobsand	0.50	3.5E-03	0.40	8.47	0.9
Mittelsand	1.20	2.8E-04	0.34	0.80	10.0

In einem Transekt in Strömungsrichtung wurde in vier Abständen jeweils ein 1" - Brunnen und eine CMT-Messstelle mittels handgehaltener Rammtechnik installiert (2"-Gestänge mit innenliegendem Filterrohr und verlöreener Spitze). Zur Überprüfung der Stabilität der Schadstofffahne wurde jede Messstelle mit einer Lichtleitersonde

versehen, mittels derer über ein 19-Kanal Fluorometer die Konzentration an Uranin kontinuierlich aufgezeichnet werden konnte.

Außerdem wurde in der bereits vorhandenen 6"-Messtelle eine Mini-Druckpumpe mit Schlauchpacker zur horizontalen Probennahme eingebaut.

Im Behälter wurde mit einer zulaufseitigen Schneckenpumpe bei ablaufseitigem, konstantem Wasserspiegel ein Gradient von 1 % eingestellt, wodurch eine (rechnerische) Abstandsgeschwindigkeit von ca. 6 m / d in der Feinsandschicht und ca. 9 m/d in der Grobsandschicht erzeugt wurde.

### Vorgehensweise

An zwei der Probennahmestellen wurde kontinuierlich eine mit PCE gesättigte und mit Uranin gefärbte Lösung (5 mg/L Uranin, 160-180 mg/L PCE) zugegeben. Die Aufsättigung der Zugabelösung mit PCE erfolgte in einer 20 L Glasflasche mit PCE-Phasenkörper und Magnetrührer, durch die die Uranin-Lösung mit einer Membranpumpe gedrückt wurde (Abbildung 61). Die hohe erreichte Sättigung an PCE ist vor allem auf die hohe Umgebungstemperatur zurückzuführen, die über den Versuchszeitraum auf dem Großbehälter herrschte (25-27°C). Der Volumenstrom der Zugabe wurde mit einem Schwebekörper-Durchflussmesser mit Drosselvorrichtung eingestellt und anfangs zweistündlich kontrolliert, wobei auch Teilproben direkt aus dem Mischgefäß entnommen und auf PCE analysiert wurden. Aufgrund der sehr geringen Konzentrationsschwankungen wurde das Analyseintervall auf 4-6 Stunden und später auf ca. 8-12 Stunden erhöht.

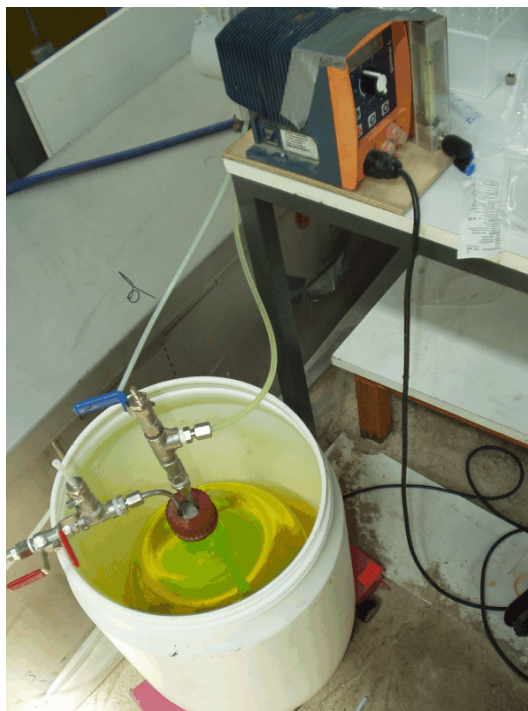


Abb. 61: Pumpe mit Mischgefäß

Nach einer Equilibrierphase von einem Tag war bereits eine stabile Fahne im Behälter eingestellt, was anhand der konstanten Fluoreszenzsignale am Fluorometer zu erkennen war. Nach zwei und drei Tagen wurden die Referenz-Messstellen des Großbehälters und die eingebauten Brunnen in zwei Kampagnen beprobt und sowohl mit Vor-Ort-Analytik (GC-PID mit Headspace-Autosampler, Lichtleiter-Fluorometer) als

auch im VEGAS-Labor (HPLC, GC-FID) analysiert. Die Probenahme aus den Referenz-Messstellen erfolgte über PTFE-Röhrchen, die bis zum Boden der Braunglas-Enghals-Flaschen (100 mL) eingeführt wurden.

In den vollverfilterten 1"- Messstellen wurde zur Beprobung ein Doppelpacker in die Tiefen der Referenzmessstellen eingebaut und mittels einer pneumatischen, sog. Mini-Druckpumpe (MPP) der Fa. imw gepumpt. Die CMT-Messstellen mit baulich festgelegtem Filterbereich wurden ohne Packer mit der MPP beprobt.

Alle Flaschen wurden randvoll (bis zum Überlaufen) befüllt, mit Schraubdeckeln mit PTFE-Septen dicht verschlossen und bis zur Analyse bei 8°C im Dunkeln gelagert. In zwei Kontrollebenen (d und f der Referenz resp. I und III der Brunnen) wurden jeweils doppelte Beprobungen in direkter Folge durchgeführt, um den relativen Einfluss von Probenahme- und Analyseverfahren auf das Endergebnis mittels zweifaktorieller Varianzanalyse erfassen zu können (Schema siehe Abbildung 62).

Analyt PCE:		Referenz		1" mit Packer und MPP		CMT mit MPP	
Probennahme	Analyse	GC-PID	HPLC	GC-PID	HPLC	GC-PID	HPLC
Referenz	GC-PID			x		x	
	HPLC				x		x
1" mit Packer und MPP	GC-PID					(x)	
	HPLC						(x)
CMT mit MPP	GC-PID						
	HPLC						

Analyt Uranin:		Referenz		1" mit Packer und MPP		CMT mit MPP	
Probennahme	Analyse	LLF	HPLC	LLF	HPLC	LLF	HPLC
Referenz	LLF			x		x	
	HPLC				x		x
1" mit Packer und MPP	LLF					(x)	
	HPLC						(x)
CMT mit MPP	GC-PID						
	LLF						

LLF: Lichtleiter-Fluorometer; MPP: Mini-Druckpumpe von imw; CMT: Mehrkanal-Messstellen von imw  
 x / (x): durchgeführter / (nicht durchgeführter) Vergleich

**Abb. 62:** Balancierter, faktorieller Ansatz für den simultanen Test von Probenahme- und Analyseverfahren im Technikumsversuch

In einem balancierten, faktoriellen Ansatz wurden Probenahme- und Analyseverfahren im Technikumsversuch simultan getestet. Für die zwei Zielgrößen Uranin- und PCE- Konzentration ergibt sich daraus eine Vielzahl möglicher, zweifaktorieller Vergleiche von Probenahmen- und Analyseverfahren, aus denen jeweils sechs ausgewählt und zum einen nach Probenahmedatum getrennt als auch gesamt durchgeführt

wurden. Zur Auswertung wurde die frei verfügbare, DOS-basierte Software Robcoop4 verwendet, die speziell für die Durchführung von Varianzanalysen (ANOVA) von geochemischen Datensätzen mittels robuster Verfahren entwickelt wurde (Ramsey, 1998). Die Robustheit wird durch "Trimmung" des Datensatzes um 10% erreicht, d.h. die am meisten differierenden Wertepaare werden nicht berücksichtigt.

Mit den Ergebnissen der ANOVA können Aussagen über den Einfluss der räumlichen Heterogenität, des Probennahmeverfahrens und der Analytik auf das Gesamtergebnis einer Konzentrationsbestimmung getroffen werden, angegeben als relativer Beitrag zur Gesamtvarianz eines Datensatzes. Gegenüber dem von Ramsey (1998) beschriebenen Verfahren fällt im hier verwendeten Ansatz die eigentliche Probennahme (also das Befüllen der Flaschen), mit unter den Faktor Analytik.

Es sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass systematische Fehler mittels ANOVA grundsätzlich nicht erkannt werden können und zu einer Verfälschung der ermittelten Varianzen führt. Die Bedingungen im Technikum können zwar relativ gut kontrolliert werden, systematische Fehler eines oder mehrerer verglichener Probennahmeverfahren sind jedoch ohne grundlegende Untersuchungen der einzelnen Verfahren schwer von zufälligen Fehlern zu trennen.

## **Ergebnisse**

Die erfassten Punktdaten wurden räumlich regionalisiert und zur besseren Vergleichbarkeit jeweils die gleichen Schnittebenen dargestellt. Grundsätzlich ergaben sich sowohl für PCE als auch Uranin aus den Ergebnissen der CMT-Messstellen sehr ähnliche Verteilungsmuster zu den Referenzmessungen, wobei die geringere Auflösung der Brunnen im Vergleich zur Referenz erwartungsgemäß zu einer unschärferen Eingrenzung der Fahne führte. Besonders deutlich wird dies bei Betrachtung über die Tiefe, da hier - bedingt durch den lagenweisen, stark heterogenen Aufbau des Aquifers mit entsprechend präferierten Transportwegen - kleinräumig bereits große Konzentrationsänderungen auftraten. Da die Lage der gut leitenden Schicht bei der Regionalisierung nicht berücksichtigt werden konnte, ist davon auszugehen, dass an den Schichtgrenzen auch die regionalisierten Ergebnisse aus den Referenzmessungen erheblich von der wahren Konzentrationsverteilung abweichen.

Als Alternative wären Regionalisierungsverfahren unter Berücksichtigung zusätzlicher, bekannter Nebenbedingungen (hier der hydraulischen Leitfähigkeit) anzuwenden. Solche Verfahren stehen jedoch noch am Anfang der Entwicklung, sind in Durchführung und Interpretation erheblich komplexer und gerade bei kleinen Datensätzen

auch nicht immer zielführend, da bei der Schätzung des Variogramms ein weiterer Freiheitsgrad berücksichtigt werden muss.

Aus den durchgeführten Vergleichen geht hervor, dass der Beitrag der Analytik zur Gesamtvarianz (inkl. Befüllung der Probennahmegefäße) sehr gering ist und mit einer Ausnahme für alle Verfahren deutlich unter 10% liegt. Für einige Vergleiche wurde nur der gesamte Datensatz (für beide Termine) betrachtet, da die Anzahl der verfügbaren Wertepaare je Datum keine sinnvolle Berechnung der Varianzen zuließ. Dies bedeutet für die entsprechenden Ergebnisse, dass die zeitliche Variabilität im Faktor "räumliche Heterogenität" enthalten ist. Generell waren die Ergebnisse jedoch für beide Termine sehr ähnlich.

In der Regel führte die Trimmung des Datensatzes zu einer Verlagerung der Varianz vom Faktor Probennahme zur räumlichen Heterogenität. Die Ergebnisse aus der klassisch durchgeführten ANOVA sind also stark von Extremwerten dominiert, die zwar relativ gesehen geringe Standardfehler aufweisen, letztlich jedoch mit hohen Absolutwerten ins Gewicht fallen und daher für den Vergleich nicht geeignet sind.

## **1 Zoll gegen Referenz**

Die Beprobung mit Doppelpacker und Mini-Druckpumpe ergab sehr ähnlich streuende Konzentrationen. Für PCE analysiert mittels HPLC konnten über 95% der Varianz durch die räumliche Heterogenität erklärt werden, die Analytik mit GC-PID lieferte immerhin 80% für diesen Vergleich, der Rest fiel jeweils auf die Probennahme.

Für Uranin ergab sich ein ähnliches Bild, wobei sich aus den HPLC-Daten 17% der Varianz über die Probennahme erklären lassen, aus den Fluorometer-Daten sind es lediglich 1%. Insgesamt lagen die Absolutwerte von Uranin und PCE in den I"-Brunnen unter denen der Referenz. Die Ursache könnte in einem zu großen Abstand der Messstellen liegen. Um eine gegenseitige Beeinflussung der Brunnen zu vermeiden, waren die 1"- Brunnen in die Mitte zwischen jeweils zwei Referenz-Messstellen gesetzt worden.

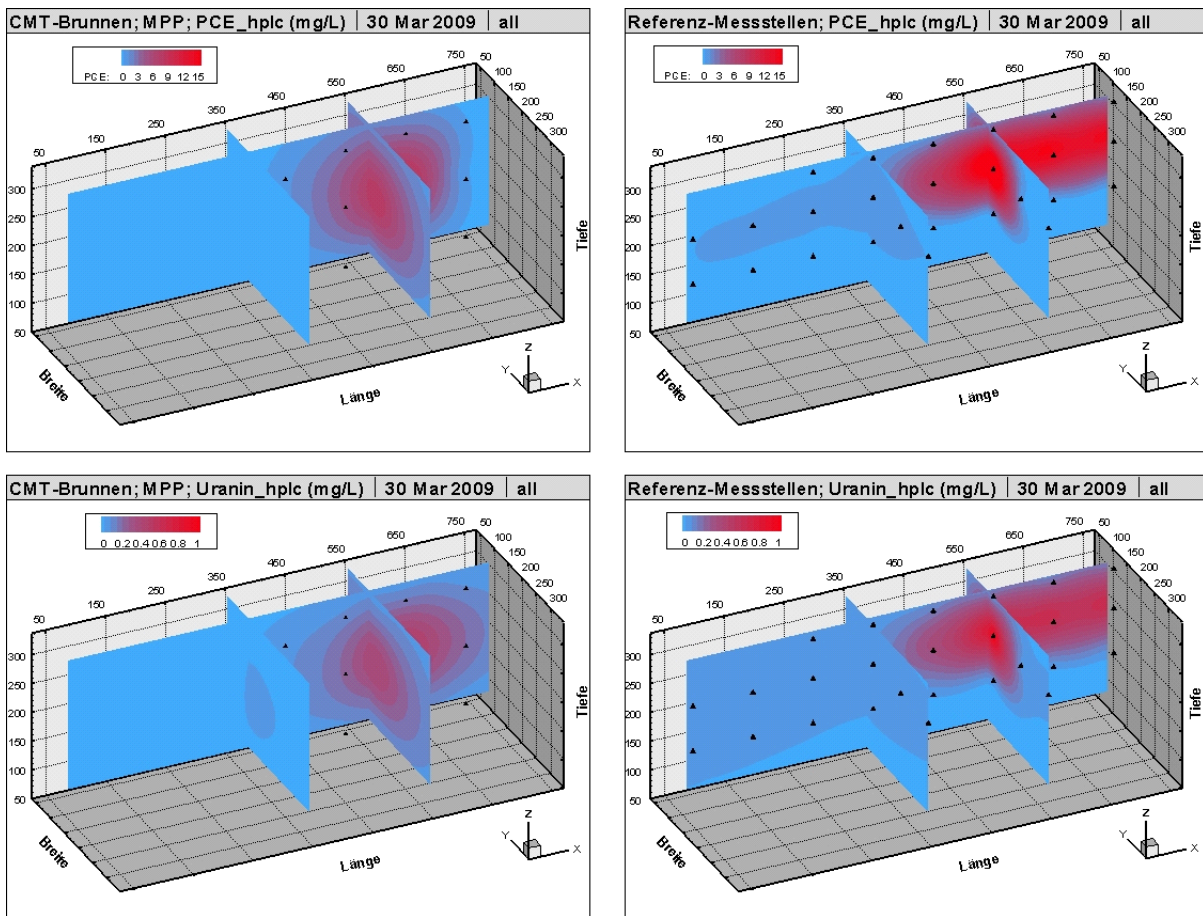


**Tabelle 13:** Exemplarischer Ausgangsdatensatz für einen zweifaktoriellen Vergleich. Proben aus den 1"-Brunnen, entnommen mit Packer und Mini-Druckpumpe, gegen Referenz-Proben aus dem Großbehälter; beide doppelt beprobt und analysiert mittels HPLC

Probennahme Wiederholung	PCE-Konzentration HPLC (mg/L)			
	Referenz		1"-Brunnen	
	I	II	I	II
09.07.2008	0.00	0.00	0.10	0.05
	0.64	0.95	2.30	2.54
	0.00	0.00	0.03	0.02
	0.00	0.00	0.04	0.04
	26.15	24.80	0.63	0.70
	0.00	0.00	0.02	0.03
10.07.2008	0.00	0.00	0.08	0.05
	0.45	0.91	2.08	2.24
	0.00	0.00	0.01	0.00
	0.00	0.00	0.03	0.04
	24.48	22.84	0.37	0.38
	0.00	0.00	0.05	0.07

### CMT gegen Referenz

Die Vergleiche der Ergebnisse aus den CMT-Brunnen mit der Referenz ergaben erheblich höhere erklärte Anteile der Probennahmevarianz an der Gesamtvarianz. Dies waren für Uranin mittels HPLC rund 50% bzw. 80%, für PCE (HPLC) über 90%. Lediglich die mittels Fluorometer gemessenen Uranin-Konzentrationen wiesen rund 78% bzw. 95% der Varianz der räumlichen Heterogenität zu. Auffällig war außerdem eine Verschiebung der erklärten Varianz durch die Trimmung des Datensatzes hin zum Faktor "Probennahme", was insgesamt auf systematische Abweichungen der CMT-Messstellen von der Referenz hindeutet. Für PCE (PID) war der Datensatz aufgrund von Geräteproblemen unvollständig und für die Berechnung leider ungeeignet.



**Abb. 63:** Regionalisierte Konzentrationsverteilungen von Uranin und PCE im Großbehälter am 10.07.2008 (Verteilung am 09.07. nahezu identisch). Ergebnisse aus der Beprobung der Referenz-Messstellen im Vergleich zu den CMT-Brunnen, jeweils analysiert mittels HPLC. Dargestellt sind die in der statistischen Auswertung betrachteten, doppelt beprobten Kontrollebenen d und f, sowie die Ebene Y=1,2 m. Verwendete Software: Tecplot 360, interne Kriging-Routine, Range: 0.3, NoDrift, PointSelection: octant

Abbildung 63 zeigt die Konzentrationsverteilungen von PCE und Uranin beim Vergleich der Ergebnisse aus den CMT-Messstellen mit denen der Referenzprobennahmestellen. Man erkennt für beide Substanzen eine gute Übereinstimmung der Lagen der Fahnen, die sich für die beiden Probennahmeararten ergeben.

Tabelle 14 zeigt beispielhaft die statistische Auswertung der Mehrfachbestimmungen für die 1-Zoll- und die Referenzmessstellen. Man erkennt, dass bei klassischer Auswertung die Probennahme die Hauptvarianz erzeugt, während bei robuster Auswertung die Heterogenität der Schadstoffverteilung fast vollständig für die Varianz verantwortlich ist. Dies belegt die gute Eignung dieser Art der Messstelle in Kombination mit der speziellen Probennahmetechnik (1-Zoll-Packer) für die Probennahme von sowohl konservativen Analyten (Uranin) als auch von flüchtigen Analyten (PCE).

**Tabelle 14:** Statistische Kenngrößen aus den Gegenüberstellungen der 1-Zoll Messstellen und der Referenzprobennahmestellen

PCE, ausgewählte 1"-Brunnen vs. Referenz, Analytik mit HPLC

HPLC		Datum1			Datum2			Gesamt		
ANOVA	Anzahl Faktor	6			6			12		
		Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse
klassisch	Mittelwert	2.46			2.25			2.36		
	$\Sigma(x-Dx)$	548.42	618.20	0.99	463.93	544.11	1.47	1012.86	1162.31	2.47
	Sigma	1.29	7.18	0.29	0.73	6.73	0.35	0.00	6.96	0.32
	% Varianz	3	97	0	1	99	0	0	100	0
	Sigma_ges.	7.30			6.78			6.96		
robust	Mittelwert	0.64			0.57			0.61		
	Sigma	1.10	0.16	0.04	0.97	0.16	0.02	0.99	0.16	0.03
	% Varianz	98	2	0	97	3	0	97	3	0
	Sigma_ges.	1.11			0.98			1.00		

PCE, ausgewählte 1"-Brunnen vs. Referenz, Analytik mit PID

PID		Gesamt		
ANOVA	Anzahl Faktor	10		
		Heterogenität	Probenahme	Analyse
klassisch	Mittelwert	0.68		
	$\Sigma(x-Dx)$	59.44	39.52	1.77
	Sigma	0.81	1.39	0.30
	% Varianz	25	72	3
	Sigma_ges.	1.64		
robust	Mittelwert	0.30	0.15	0.02
	Sigma	0.30	0.15	0.02
	% Varianz	80	20	1
	Sigma_ges.	0.33		

Die weiteren statistischen Auswertungen sind im Anhang (Kapitel 10.1.4) dargestellt.

## Fazit

Mit Hilfe eines Versuches unter kontrollierten Bedingungen im Technikumsmaßstab konnten wichtige Erkenntnisse bezüglich der Zusammensetzung der Gesamtvariabilität aus den Faktoren Heterogenität, Probenahme und Analytik gewonnen werden. Wie zuvor bereits bei nichtflüchtigen Schadstoffen wie Schwermetallen beobachtet, hatte die Analytik generell mit unter 10% den kleinsten Anteil an der Gesamtvarianz [Ramsey, 1998]. Vor diesem Hintergrund sollte der Fokus von künftigen Bemühungen um eine erhöhte Genauigkeit und Aussagesicherheit von Erkundungsdaten vermehrt auf die Strategien zur Probenahme (Messnetz und Art der Beprobung) gerichtet sein, da hier nach wie vor die größten Unsicherheiten für das Gesamtergebnis liegen. Dies gilt umso mehr, je heterogener verteilt der Analyt vorliegt.

Diese Untersuchungen haben auch gezeigt, dass selbst unter den hochkontrollierten Bedingungen wie im VEGAS-Großbehälter die Erfassung von verlässlichen Referenzwerten äußerst schwierig sein kann.

## 6 Strategische Entwicklungen

Im Verlauf des Projekts wurde die enge Verbindung von innovativen Messtechniken mit entsprechenden Einsatzstrategien deutlich, was sich auf die Anwendung und damit auch auf die Verifizierung von solchen Techniken auswirkt. Gerade innovativen Techniken gehen bei der Ermittlung von Messwerten eigene Wege, die unter Umständen nicht völlig mit konventionellen Techniken vergleichbar sind.

Ein prägnantes Beispiel dafür ist die Probennahmetechnik der Firma Weiß mit mehrfachverfilterten 1 Zoll-Messstellen, die mit einer speziellen Minidruckpumpe horizontweise beprobt werden (siehe Kapitel 4.2). Dies hat zum einen zur Folge, dass Referenzwerte, die über konventionelle vollverfilterte Messstellen erhoben werden, prinzipiell nicht direkt mit den Werten verglichen werden können, die über diese innovative Technik erhalten wurden. Zum anderen muss aber die innovative Technik in ein gänzlich anderes Erkundungskonzept eingebettet werden, da die Durchführung von integralen Pumpversuchen naturgemäß nicht über diese Technik möglich ist. Dafür erhält man mit der neuen Technik detaillierte Tiefeninformation, die mit klassischen vollverfilterten Messstellen nicht oder nur mit erheblichem Aufwand und entsprechenden Unsicherheiten zu erfassen sind.

Dies bedeutet, dass es nicht ausreicht, im Verlauf einer Verifizierung nur die reine Funktion einer Technik zu betrachten, sondern - insbesondere vor dem Hintergrund der Akzeptanz durch Behörden und Ingenieurbüros - ggf. auch die Messstrategie betrachtet werden muss. Dieser Fall, in dem ein direkter Vergleich mit konventionellen Methoden nicht möglich ist, stellt eine besondere Herausforderung an die Testeinrichtung dar, da hier die Kommunikation mit dem Hersteller und den sonstigen Betroffenen noch enger sein muss und die Anforderungen an Einfallsreichtum bei den Testumgebungen sehr hoch sein können. Naturgemäß steigt dann auch das Risiko eines Fehlschlags einer Verifizierung.

Die Bemühungen strategische Betrachtungen in die Verifizierungen mit einzubeziehen haben umgekehrt dazu geführt, dass es sich im Verlauf des Projekts gezeigt hat, dass die von VEGAS konzipierten einfachen Sensorsysteme (MOX-System) den Anforderungen von Behörden und Ingenieurbüros nicht standhalten konnten. Obwohl die Systeme ihre prinzipielle Funktionstauglichkeit unter Beweis stellen konnten (Batereau, 2004), erfüllten Sie nicht die Anforderungen im Hinblick auf die Forderung nach der Möglichkeit der stofflicher Zuordnung der Signale zu Einzelsubstanzen. Die für die Systeme konzipierte Strategie fand nicht die Zustimmung der Behördenvertreter und Ingenieure, so dass entsprechende Weiterentwicklungen mittlerweile eingestellt

wurden.

Diese beiden Beispiele zeigen die Wichtigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung bei Verifizierungsverfahren, wozu sowohl die Funktion von Techniken aber auch die Anforderungen in strategischer Hinsicht und im Hinblick auf den Gesamtkontext des späteren Einsatzes gehören. Hier muss im Verlauf einer Verifizierung unter Umständen gegenüber dem Hersteller klargestellt werden, dass zumindest zum momentanen Zeitpunkt unter Berücksichtigung der rechtlichen und verwaltungstechnischen Rahmenbedingungen eine Fortsetzung der Verifizierung keinen Sinn macht. Eventuell muss aber auch bei den Behörden und Ingenieurbüros ein gewisses strategisches Umdenken angeregt werden und die Vorzüge einer neuen Technik klar herausgearbeitet werden. Auch an dieser Schnittstelle kommt der Testeinrichtung eine besondere Stellung zu, die es auszufüllen gilt.

In diesem Zusammenhang kommt den Entwicklungen des Teilprojekts 2 ("Softwaregestützte Optimierung der Vorgehensweise beim Einsatz der Vor-Ort-Analytik im Feld mittels neuronaler Netze") der Universität Karlsruhe eine besondere Bedeutung zu. Sowohl für die routinemäßige Anwendung von innovativen Messtechniken im Feld als auch für Zwecke der Verifizierung mittels Felddemonstrationen sind softwaregestützte Werkzeugen zur Visualisierung und Planung ein wichtiges Hilfsmittel. Während im Routineeinsatz die schnelle Visualisierung der Daten mit dem Ziel der weiteren Planung der Messkampagne im Vordergrund steht, liegt bei Felddemonstrationen der Hauptnutzen in der Verbesserung der Datenlage in Bezug auf Referenzwerte.

Um den dynamischen Ansprüchen solchen Werkzeugs gerecht zu werden, wurde im Teilprojekt auf zwei unterschiedliche Methoden zurückgegriffen. Einerseits werden mit Techniken aus dem Bereich der Geographischen Informationssysteme die Voraussetzungen geschaffen, die vorhandenen, sowie die aus der Analyse und im Feld erhobenen Daten zu visualisieren und unter Umständen weiter zu manipulieren. Zu diesem Zweck muss die Option bestehen, die relevanten Daten zu sammeln, verwalten und unter gesetzten Voraussetzungen transformieren zu können. Auch hier wird das Werkzeug durch die Implementierung von GIS-Techniken den Ansprüchen gerecht.

Des Weiteren wird für die Auswertung der Daten zur Standortbewertung und die Vorhersage bisher unregelmäßiger oder fehlender Datenlagen die Methodik der Künstlichen Neuronalen Netze eingesetzt. Künstliche Neuronale Netze (KNN) sind informationsverarbeitende, adaptive Systeme aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz zur Lösung nichtlinearer, komplexer Aufgaben und Probleme. Sie bestehen aus Strukturen, welche die Fähigkeit besitzen, selbständig Zusammenhänge anhand von

Beispielen zu erlernen. Besonders in der Erkennung von Mustern sind die KNN deutlich anderen Verfahren, z.B. der multivariaten Statistik, überlegen.

Damit ein routinemäßiger Einsatz gewährleistet werden kann, der zudem den Faktor Zeit mit einschließt, ist eine Art von Standardisierung der Eingabeparameterwahl sinnvoll. Die Eingabeparameter, welche für das Training der KNN absolut notwendig sind, da sie die Lernfähigkeit des System beeinflussen, können im Idealfall auf eine Reihe gesetzter Parameter reduziert werden. Insbesondere Parameter, zur Beschreibung des Untergrundes sind dabei unerlässlich. Für eine verlässlichere Aussage über die Standortsituation bezüglich Lage und Ausmaß einer Kontamination, verglichen mit den klassischen Vorgehensweisen eines starren Rasters und einer geringen Anzahl an Beprobungspunkten, ist es nichtsdestotrotz notwendig, mit dem Expertenwissen die Eingabeparameter auf die jeweilige, individuelle Standortsituation vernünftig abzuwägen und eine entsprechende Parameterwahl zu treffen.

Für eine weitere, detailliertere Beschreibung der Implementierung von Künstlichen Neuronalen Netzen und der GIS-Techniken, sowie des Softwaretools wird auf den eigenständigen Abschlussberichts des Teilbereichs 2 verwiesen.

## **7 Bewertung durch die Projektbeteiligten**

### **7.1 Ingenieurbüros**

Der Einsatz von Vor-Ort-Messgeräten hängt maßgeblich von der Anerkennung durch die Behörde ab. Stimmen diese einer Anwendung von Vor-Ort-Messgeräten zu, dann erfolgt eine wirtschaftliche Gegenüberstellung mit den herkömmlichen Verfahren.

Sollte sich bei dieser Berechnung ergeben, dass keine Kostenersparnis zu erwarten ist, hängt es vom Auftraggeber ab, ob dieser auf Grund von Zeitersparnis bereit ist entsprechende Mehrkosten zu übernehmen.

Sollte die Berechnung einen Kostenvorteil erbringen, so sind folgende Anforderungen an die Vor-Ort-Messgeräte zu stellen:

- Zuverlässig (kein Ausfall während der Messkampagnen)
- Sichere Bestimmung der Messgrößen auch bei Wiederholungsmessungen, Nachmessungen

- Keine größeren Abweichungen bei Kontrollmessungen mit genormten Verfahren
- Haftungssicherheit durch Zertifikat des Geräteherstellers bei vorgeschriebener Handhabung

Die Investition in ein Vor-Ort-Messgerät muss sich entweder durch häufigen Einsatz oder entsprechend durch höhere Verrechnungssätze amortisieren. Höhere Verrechnungssätze lassen sich in der Regel aber nur realisieren, wenn ein Mehrgewinn an Informationen zu erzielen ist im Vergleich zu etablierten Methoden.

Der Zweifel an der Leistungsfähigkeit und dem Mehrwert der Vor-Ort-Techniken überwiegt bei vielen Behörden aber auch insbesondere bei Ingenieurbüros. Ein System, das geeignet ist die Leistungsfähigkeit von Techniken unter neutralen und praxisnahen Bedingungen unter Beweis zu stellen, könnte diese Zweifel deutlich verringern.

## **7.2 Produzenten innovativer Technik**

### **7.2.1 Einleitung**

Für die Einführung neuer Messgeräte am Markt ergeben sich für einen Produzenten einige wesentliche Eckpunkte die vor einer Entwicklung geprüft werden müssen. Sollte einer dieser Eckpunkte nicht lösbar sein, so ist das Projekt nicht realisierbar.

Die Eckpunkte sind:

- technische Realisierbarkeit
- wirtschaftliche Erfolgsaussichten
- Akzeptanz des Marktes

Alle diese Eckpunkte interagieren miteinander und können bei Veränderung auch zum Scheitern führen.

### **7.2.2 Technische Realisierbarkeit**

Für die Entwicklung von innovativer Vor-Ort-Messtechnik müssen die technischen Voraussetzungen gegeben sein.

D.h. z.B. der Sachverhalt (Messgröße) muss in bestimmten Toleranzen richtig sein.

Bei Vor-Ort-Messgeräten kommen noch weitere Bedingungen hinzu, wie z.B.

- Zuverlässigkeit bei unterschiedlichsten Witterungsverhältnissen
- Einfluss der Messumgebung und der Randbedingungen (Heterogenität der Matrix)
- Messbereich (Nachweisgrenzen)
- Robustheit der Geräte (Temperatur, Stoßfestigkeit)
- Handhabbarkeit (klein, leicht, von einer Person bedienbar)
- Bedienbarkeit (kein ausgebildeter Spezialist notwendig, Auswertung per Knopfdruck)

### **7.2.3 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten**

Die Vor-Ort-Analytik stellt keinen Massenmarkt dar. D.h. es werden keine großen Serien produziert, was letztlich die Herstellungskosten auf Dauer nicht wesentlich reduziert. Die Entwicklungskosten müssen zu dem auf die kleinen Serien umgelegt werden. Hinzu kommen noch evtl. Patent- oder Gebrauchsmusterkosten, Zertifizierungen und Sicherheitsprüfungen. Des Weiteren müssen Lagerhaltung, Gewährleistung und Vertriebskosten mit einkalkuliert werden.

Vom Markt werden allerdings Grenzkosten vorgegeben, die sich an der bisherigen Bearbeitung orientieren.

Mehrkosten werden insoweit nur akzeptiert, wenn ein erheblicher Zeitgewinn oder wesentlich bessere Ergebnisse erzielt werden können. Die Investitionen des Kunden müssen sich entsprechend amortisieren können.

### **7.2.4 Akzeptanz des Marktes**

Neben den bereits erwähnten wirtschaftlichen Aspekten stellt die Anerkennung der Messwerte durch die Behörden ein k.o.-Kriterium dar.

Da alle Messwerte letztendlich in ein Gutachten einfließen, kann dem Kunden nichts schlimmeres passieren, als dass die Behörden das Gutachten nicht akzeptieren (Renommée des Gutachtens). Hier wird die Vor-Ort-Analytik mit den gängigen Normen und Verfahren der bisherigen Messmethoden verglichen. Hält sie diesem nicht Stand (in gewissen Toleranzen) ist eine Markteinführung gescheitert.

Ein weiterer Aspekt aus Sicht des Kunden, ist eine genaue Spezifikation des Messgerätes. Dabei ist genau zu Beschreiben, was, wie, unter welchen Bedingungen gemessen werden kann. Dies bedeutet für den Hersteller, dass seine gemachten Angaben von einer unabhängigen Stelle überprüft und bestätigt werden sollten um beim Kunden die Akzeptanz zu erhöhen. Ein solches Gerätezertifikat gibt entsprechende Sicherheit und Vertrauen zu den ermittelten Messwerten. Der Erwerb eines solchen



Zertifikats muss sich allerdings in einem Kostenrahmen bewegen, der die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nicht völlig zu Nichte macht (siehe oben).

### 7.3 Behörden

Eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz von Vor-Ort-Messtechniken ist, dass die Eignung des Verfahrens grundsätzlich nachgewiesen sein muss. Im Idealfall liegen belastbare Praxiserfahrungen der Vor-Ort-Methode vor und das Verfahren hat bereits Eingang in gesetzliche oder untergesetzliche Regelwerke (z.B. entsprechende Verwaltungsvorschriften oder Leitfäden) gefunden. In diesen Fällen ist es aus Sicht einer Behörde vergleichsweise einfach, gegenüber einem Störer, dessen Rechtsbeistand oder einem Gericht die erforderlichen weiteren Maßnahmen zu begründen.

Die Vorgaben für ein einheitliches Verwaltungshandeln im Zusammenhang mit Vor-Ort-Methoden fehlen aber weitestgehend. So wird z.B. in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) lediglich im Anhang 1 unter dem Punkt 2.1 aufgeführt: "Für die Festlegung von Probennahmestellen können auch Ergebnisse aus einer geeigneten Vor-Ort-Analytik herangezogen werden." Diese Aussage lässt den Schluss zu, dass Vor-Ort-Methoden konventionelle Methoden, die in der BBodSchV im Anhang 1 (Anforderungen an die Probenahme, Analytik und Qualitätssicherung bei der Untersuchung) relativ konkret benannt werden, zwar ergänzen aber nicht vollständig ersetzen können.

Eine behördliche Bewertung von vorgelegten Untersuchungsergebnissen, die ausschließlich auf Vor-Ort-Methoden basieren, ist im Regelfall ohne eine Korrelation mit den Ergebnissen einer konventionellen Untersuchung nicht möglich - unabhängig davon, welche Messwerte der Realität näher kommen. Entscheidend ist, ob die anhand innovativer Vor-Ort-Methoden erzielten Ergebnisse belastbar und damit verwertbar sind. Die Ergebnisse werden in vielen Fällen erst dann justiziabel, wenn zusätzlich konventionelle Untersuchungsmethoden eingesetzt werden.

Für den Fall, dass innovative Vor-Ort-Methoden angeordnet werden sollen, muss sichergestellt werden, dass die angeordnete Maßnahme geeignet, erforderlich und angemessen ist, um das Untersuchungsziel zu erreichen. Unsicherheiten, die bei fehlenden Praxiserfahrungen mit innovativen Vor-Ort-Methoden nicht ausgeschlossen werden können, können dazu führen, dass die Anordnung rechtswidrig ist. Diese Unsicherheiten könnten über ein Verifizierungssystem unter enger Mitwirkung von Behördenvertretern verringert oder ganz beseitigt werden. Dies könnte dann auch auf

die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) zurückwirken, indem dem Einsatz von innovativen Vor-Ort-Methoden im Zuge der Novellierung mehr Gewicht im Rahmen der Altlastenbearbeitung eingeräumt werden könnte.

#### **7.4 Testeinrichtung**

Dem Testlabor kommt in dem hier vorgeschlagenen Verifizierungssystem eine zentrale Rolle zu: Dort muss eine fundierte Sachkompetenz im Hinblick auf die Altlastenbearbeitung und die entsprechende Gerätetechnik zusammenkommen. Des Weiteren müssen hier umfangreiche infrastrukturelle Gegebenheiten und Testmöglichkeiten vorhanden sein, um verlässliche quantitative Gerätetests durchführen zu können. Schließlich muss eine enge Verbindung zwischen der Testeinrichtung den Behörden, Ingenieurbüros sowie Geräteherstellern vorhanden und möglichst ein weitgehend unbeschränkter Zugriff auf geeignete Feldstandorte gegeben sein.

Solch weitreichende Voraussetzungen verlangen eine personelle und infrastrukturelle Ausstattung, die bei allen in Frage kommenden Institutionen mit Sicherheit eine gewisse Grundfinanzierung erfordert, die auf keinen Fall auf die Antragssteller umgelegt werden kann.

Eine rein kommerzielle Ausrichtung einer Testeinrichtung wird bei den zu erwartenden geringen Zahlen von Verifizierungen in diesem Bereich wahrscheinlich ohnehin nicht in Frage kommen. Sollten dennoch kommerzielle Interessen bei der Testeinrichtung im Vordergrund stehen, könnte dies auch deutlich negative Auswirkungen auf die Neutralität der Prüfungen und damit die Glaubwürdigkeit bei den Behörden und Ingenieurbüros haben.

Das Angebot einer Testeinrichtung an Entwickler von Geräten, die vorhandene Infrastruktur auch im Vorfeld einer echten Verifizierung zum Beispiel für Vortests bei Prototypen nutzen zu können, gibt der hier vorgeschlagenen schlanken Lösung zusätzlichen Charme. Solche Vortests könnten später bei Verifizierungen beim Design von Tests genutzt werden, womit sich die Tests gezielter ausrichten und ggf. Auch Kosten sparen ließen.

## **8 Zusammenfassung und Ausblick**

### **8.1 Förderung von Produkten mit Verifizierung**

Obwohl weltweit erhebliche Anstrengungen unternommen werden, innovative Produkte zu fördern, werden eine Reihe von Marktbereichen von diesen Entwicklungen nicht profitieren können. Grundsätzlich ist die Strategie mit Verifizierungen Produkten den Markteintritt zu erleichtern zwar eine gute Möglichkeit. Allerdings zielen die diesbezüglichen Entwicklungen auf die Integration von möglichst vielen Marktbereichen in ein Verifizierungssystem und berücksichtigen nicht Besonderheiten, die in einigen dieser Bereiche eine Wirksamkeit der Verifizierungssysteme einschränkt.

In diesem Forschungsvorhaben wird ein schlankes Verifizierungssystem vorgeschlagen, das speziell die Besonderheiten der innovativen Messtechniken im Umweltbereich berücksichtigt. Dieser Bereich ist bezüglich seiner Größe, der Notwendigkeit der Einbeziehung von Strategien in die Messung und die starke Abhängigkeit von der Behördenakzeptanz nicht mit anderen Marktsegmenten zu vergleichen.

Um diese Besonderheiten zu berücksichtigen, wurde ein System entwickelt, das weitgehend ohne bürokratischen Rahmen auskommt, durch seine schlanke Struktur geringe Kosten für den Anbieter von innovativen Techniken verursacht und dennoch Behördenvertretern eng einbezieht. Es werden in diesem System Funktionsprüfungen unter kontrollierten Randbedingungen (vorwiegend unter Laborbedingungen) und Demonstrationen unter Einbeziehung der strategischen Rahmenbedingungen (vorwiegend im Feld) unterschieden.

Die Kompatibilität zu den bestehenden oder in Entwicklung befindlichen Systemen kann über die Befolgung der Vorgaben des CEN Workshop Agreements 32 hergestellt werden. Das heißt, dass Daten, die im Verlauf von Verifizierungen nach dem hier vorgeschlagenen Schema erhalten wurden, später in andere Verifizierungssysteme eingespeist werden können, d.h. kompatibel zu diesen sind. Als ein am Ende des Vorhabens nicht völlig gelöstes Problem ergibt sich die Organisationsform eines solchen schlanken Verifizierungssystems. Als geeignete Lösung wird ein gemeinnütziger Verein vorgeschlagen, in dem sich alle Betroffenen, also Geräteentwickler, Behörden, Produzenten, Forschungsinstitutionen, Ingenieurbüros sowie Testeinrichtungen organisieren, um gemeinsam innovative Lösungen in die Praxis zu überführen.

Begleitend zu den Entwicklungen in Bezug auf die Verifizierungen wurden in einem

Teilvorhaben Softwaretools entwickelt, die zum einen die Vorgehensweise beim Einsatz von innovativen Messtechniken insbesondere bei der Altlastenbearbeitung durch Visualisierung und Lenkung der weiteren Vorgehensweise unterstützen, zum anderen auch die Ermittlung von Referenzwerten, die die Grundlage für die Beurteilung von neuen Techniken bei Verifizierungen bilden, erleichtern und die Datenqualität verbessern.

Ob es gelingt, die hier entwickelten Grundzüge eines schlanken, alternativen, aber doch zu den bestehenden Systemen kompatiblen Verifizierungssystem zu etablieren und in eine feste Organisationsform zu überführen, wird entscheidend davon abhängen, ob die potentiell Betroffenen einerseits bereit sind sich in einer solchen Organisation zu engagieren. Nur wenn ein breites Interesse, das sich auch in einem gewissen finanziellen Beitrag äußert, von allen Betroffenen besteht, wird dieses System eine zu erwartende schwierige Anfangsphase überwinden können. Andererseits gilt es Überzeugungsarbeit zu leisten und das erhebliche Potential zu kommunizieren, das ein solches System für die Wirtschaft, die Umwelt bis hin zur Gesetzgebung haben könnte. Die schwierige Anfangsphase wird allerdings nicht ohne weitere Förderung zu überwinden sein.

## **8.2 Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie**

Um das erhebliche Innovationspotential, das sich sowohl in vielen Forschungsinstitutionen als auch in den Entwicklungsabteilungen von Industrieunternehmen verbirgt, besser nutzen zu können, müssen neue Kooperationsmöglichkeiten zwischen diesen beiden Bereichen geschaffen werden. In Forschungsinstituten sind häufig zwar gute Ideen vorhanden, aber gleichzeitig fehlt zur Umsetzung einer Idee in ein konkretes Produkt die Möglichkeiten und auch das Know-How. Auf der anderen Seite fehlt den Entwicklungsabteilungen von Unternehmen der direkte Zugang zu Ergebnissen aus der (Grundlagen-)Forschung oder auch zu den Ideen, hier wäre aber das Know-How für die Umsetzung in Produkte vorhanden. Es müssen also Strukturen geschaffen werden, um diese Potentiale besser zusammenzuführen. Dazu könnte die unbürokratische Förderung von Partnerschaften zwischen Hochschulen oder anderen Forschungseinrichtungen und Industriefirmen einen wertvollen Beitrag leisten. Gerade im hier betrachteten Markt aber auch in anderen Bereichen scheitern solche Kooperationsversuche an bürokratischen Hürden, da es dabei häufig um kleine Projekte geht, für die der Aufwand für eine Beantragung von Fördermitteln und für die Abwicklung des Projekts in keinem Verhältnis zu den für eine effektive Kooperation fehlenden Mitteln steht. Die meisten bestehenden Programme sind für größere Projekte, die eine Kooperation über einen längeren Zeitraum erfordern, ausgelegt.

Hier müssten rasch Strukturen geschaffen werden, die eine direkte Kooperation zwischen Forschern und Produzenten auch für kleine Kooperationsprojekte ermöglichen, wobei hier eine rasche Abwicklung der Anträge ohne großen bürokratischen Aufwand wesentlich wäre. Neben schlanken Verifizierungsmechanismen unter Einbindung aller Betroffenen wäre dies eine zweite erfolgversprechende Möglichkeit innovative Produkte im Umweltbereich schneller in den Markt zu überführen.

## 9 Literatur

- Batereau, K. (2004): Sensorbasierte Bodenluftmessung zur Vor-Ort-Erkundung von Schadensherden im Untergrund. Dissertationsschrift im Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart. Institutsmittellungen, Heft 126, Eigenverlag.
- Heitmann, T. und Klaas, N. (2008): ETV System Testing at Reference Scale and feasibility report of ECV system for practical application, including a reference site preparation guide. Deliverable for the PROMOTE project [[www.promote-etv.org](http://www.promote-etv.org)].
- Henry, P. (2008): Final Remarks&Closure. Presentation at the Conference "Boosting Environmental Technologies by Verification", Brüssel, 15.-16. September 2008.
- Göpel, W., Hesse, J., Zemel, J.N. (1991): Sensors, Part II: Chemical and Biochemical Sensors. VCH, Weinheim.
- ISO/IEC 17025 (2005): General requirements for the competence of testing and calibration laboratories [[www.iso.org](http://www.iso.org)].
- Merkourakis, S., Calleja, I., Delgad, L., Oçafraïn, A., und Laurent, S. (2007). Environmental Technologies Verification Systems. European Commission.
- Ramsey, M. H. (1998): Sampling as a source of measurement uncertainty: techniques for quantification and comparison with analytical sources J. Anal. At. Spectrom., 13, 97-104.
- Ruck, W. (2006): Validierung von Vor-Ort-Messmethoden als Voraussetzung für den Transfer in die Praxis. Vortrag auf dem Symposium "Vor-Ort-Analytik 2006 - Feldmesstechnik für die Erkundung von kontaminierten Standorten", 4. und 5. April 2006, Stuttgart.
- Track, Th. (2006): Introduction to the Joint ETV-Meeting. Presentation at the Joint ETV Meeting, Stuttgart June 13-15th, 2007 [[www.promote-etv.org](http://www.promote-etv.org)].
- Weiß, H., Teutsch, G., Daus, B. (1997): Sanierungsforschung in regional kontaminierten Aquiferen (SAFIRA) - Bericht zur Machbarkeitsstudie für den Modellstandort Bitterfeld. UFZ-Bericht Nr. 27/1997.
- Weiß, H., Teutsch, G., Daus, B. (1999): SAFIRA, 2. Statusbericht, Modellstandort,

Mobile Testeinheit, Pilotanlage. UFZ-Bericht Nr. 17/1999.

## 10 Anhang

### 10.1 Zusatzinformationen zu den Tests am VEGAS-Großbehälter

#### 10.1.1 Lage der CMT-Messstellen und 1-Zoll Messstellen im Großbehälter

Ebene	Nr. Kanal	x (m)	Tiefe (z Referenz in m)		
			CMT	1"-Br.	MLPS
I	1	3.98	2.84	3.17	3.00
	2		2.03	2.17	2.20
	3		1.23	1.17	1.20
II	1	4.98	3.09	3.13	
	3		2.10	2.13	
	2		1.06	1.13	
III	1	5.98	3.14	3.14	
	3		2.09	2.14	
	2		1.12	1.14	
IV	1	6.98	3.11	3.13	
	3		2.10	2.13	
	2		1.10	1.13	

#### 10.1.2 Hydraulische Verhältnisse (Druckhöhen) im Großbehälter

Name	x / Zeit	09.07. 9:15	11.07. 13:50
aE	0.48	3988	3974
aF	0.48	3989	3974
bE	1.48	3982	3967
bF	1.48	3982	3967
cE	2.48	3974	3961
cF	2.48	3974	3957
dE	3.48	3968	3953
dF	3.48	3968	3954
eE	4.48	3952	3937
eF	4.48	3951	3936
fE	5.48	3941	3924
fF	5.48	3944	3935
gE	6.48	3936	3922
gF	6.48	3936	3921
hE	7.48	3922	3906
hF	7.48	3920	3901
iE	8.48	3904	3889
iF	8.48	3911	3898

Grad h (%) -10.1

-10.2

### 10.1.3 Koordinaten der Referenzmessstellen im Behälter

Koordinate (m)				Koordinate (m)			
Name	x	y	z	Name	x	y	z
2bC	1.48	2.40	3.31	3eD	4.48	3.38	2.62
2bD	1.48	3.38	3.31	3fA	5.48	0.44	2.62
2cA	2.48	0.44	3.31	3fB	5.48	1.42	2.62
2cB	2.48	1.42	3.31	3fC	5.48	2.40	2.62
2cC	2.48	2.40	3.31	3fD	5.48	3.38	2.62
2cD	2.48	3.38	3.31	3gA	6.48	0.44	2.62
2dA	3.48	0.44	3.31	3gB	6.48	1.42	2.62
2dB	3.48	1.42	3.31	3gC	6.48	2.40	2.62
2dC	3.48	2.40	3.31	3gD	6.48	3.38	2.62
2dD	3.48	3.38	3.31	3hA	7.48	0.44	2.62
2eA	4.48	0.44	3.31	3hB	7.48	1.42	2.62
2eB	4.48	1.42	3.31	3hC	7.48	2.40	2.62
2eC	4.48	2.40	3.31	3hD	7.48	3.38	2.62
2eD	4.48	3.38	3.31	4aA	0.48	0.44	1.84
2fA	5.48	0.44	3.31	4aB	0.48	1.42	1.84
2fB	5.48	1.42	3.31	4aC	0.48	2.40	1.84
2fC	5.48	2.40	3.31	4aD	0.48	3.38	1.84
2fD	5.48	3.38	3.31	4bA	1.48	0.44	1.84
2gA	6.48	0.44	3.31	4bB	1.48	1.42	1.84
2gB	6.48	1.42	3.31	4bC	1.48	2.40	1.84
2gC	6.48	2.40	3.31	4bD	1.48	3.38	1.84
2gD	6.48	3.38	3.31	4cA	2.48	0.44	1.84
2hA	7.48	0.44	3.31	4cB	2.48	1.42	1.84
2hB	7.48	1.42	3.31	4cC	2.48	2.40	1.84
2hC	7.48	2.40	3.31	4cD	2.48	3.38	1.84
2hD	7.48	3.38	3.31	4dA	3.48	0.44	1.84
3aA	0.48	0.44	2.62	4dB	3.48	1.42	1.84
3aB	0.48	1.42	2.62	4dC	3.48	2.40	1.84
3aC	0.48	2.40	2.62	4dD	3.48	3.38	1.84
3aD	0.48	3.38	2.62	4eA	4.48	0.44	1.84
3bA	1.48	0.44	2.62	4eB	4.48	1.42	1.84
3bB	1.48	1.42	2.62	4eC	4.48	2.40	1.84
3bC	1.48	2.40	2.62	4eD	4.48	3.38	1.84
3bD	1.48	3.38	2.62	4fA	5.48	0.44	1.84
3cA	2.48	0.44	2.62	4fB	5.48	1.42	1.84
3cB	2.48	1.42	2.62	4fC	5.48	2.40	1.84
3cC	2.48	2.40	2.62	4fD	5.48	3.38	1.84
3cD	2.48	3.38	2.62	4gA	6.48	0.44	1.84
3dA	3.48	0.44	2.62	4gB	6.48	1.42	1.84
3dB	3.48	1.42	2.62	4gC	6.48	2.40	1.84
3dC	3.48	2.40	2.62	4gD	6.48	3.38	1.84
3dD	3.48	3.38	2.62	4hA	7.48	0.44	1.84
3eA	4.48	0.44	2.62	4hB	7.48	1.42	1.84
3eB	4.48	1.42	2.62	4hC	7.48	2.40	1.84
3eC	4.48	2.40	2.62	4hD	7.48	3.38	1.84



### 10.1.4 Statistische Auswertungen der Probennahmetechniken

PCE, ausgewählte CMT-Brunnen vs. Referenz, Analytik mit HPLC

HPLC		Datum1			Datum2			Gesamt		
ANOVA	Anzahl Faktor	6			6			12		
		Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse
klassisch	Mittelwert	3.26			3.38			3.32		
	$\Sigma(x-\bar{x})$	1068.94	214.91	1.23	1127.50	100.70	1.74	2196.62	315.60	2.98
	Sigma	6.67	4.23	0.32	7.22	2.88	0.38	6.58	3.62	0.35
	% Varianz	71	29	0	86	14	0	77	23	0
	Sigma_ges.	7.90			7.79			7.52		
robust	Mittelwert	0.37			0.42			0.39		
	Sigma	0.00	0.61	0.16	0.00	0.71	0.12	0.00	0.66	0.15
	% Varianz	0	94	6	0	97	3	0	95	5
	Sigma_ges.	0.63			0.72			0.68		

PCE, ausgewählte CMT-Brunnen vs. Referenz, Analytik mit PID

PID		Gesamt		
ANOVA	Anzahl Faktor	8		
		Heterogenität	Probenahme	Analyse
klassisch	Mittelwert	1.25		
	$\Sigma(x-\bar{x})$	114.53	13.38	0.72
	Sigma	1.92	0.90	0.21
	% Varianz	81	18	1
	Sigma_ges.	2.13		
robust	Mittelwert	0.67		
	Sigma	0.00	0.97	0.06
	% Varianz	0	100	0
	Sigma_ges.	0.97		

Uranin, ausgewählte 1<sup>st</sup>-Brunnen vs. Referenz, Analytik mit HPLC

Uranin_HPLC		Datum1			Datum2			Gesamt		
ANOVA	Anzahl Faktor	6			6			12		
		Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse
klassisch	Mittelwert	0.13			0.13			0.13		
	$\Sigma(x-\bar{x})$	0.84	0.96	0.01	0.81	0.80	121.46	1.65	1.76	248.04
	Sigma	0.05	0.28	0.03	0.09	0.26	0.03	0.03	0.27	0.03
	% Varianz	2.6	96.1	1.3	9.6	89.0	1.4	1.2	97.4	1.4
	Sigma_ges.	0.29			0.27			0.27		
robust	Mittelwert	0.07			0.06			0.06		
	Sigma	0.06	0.01	0.01	0.04	0.03	0.01	0.05	0.02	0.01
	% Varianz	94.2	5.1	0.7	67.1	31.8	1.1	82.5	16.5	0.9
	Sigma_ges.	0.06			0.05			0.05		

Uranin, ausgewählte 1<sup>st</sup>-Brunnen vs. Referenz, Analytik mit Lichtleiter-Fluorometer

LLF		Datum1			Datum2			Gesamt		
ANOVA	Anzahl Faktor	6			6			12		
		Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse
klassisch	Mittelwert	0.43			0.37			0.40		
	$\Sigma(x-\bar{x})$	8.32	5.63	0.01	5.96	5.19	0.01	14.32	10.82	0.03
	Sigma	0.43	0.69	0.03	0.29	0.66	0.03	0.32	0.67	0.03
	% Varianz	28	72	0	16	84	0	18	82	0
	Sigma_ges.	0.81			0.72			0.74		
robust	Mittelwert	0.43			0.37			0.40		
	Sigma	0.73	0.05	0.01	0.62	0.07	0.01	0.65	0.06	0.01
	% Varianz	99	1	0	99	1	0	99	1	0
	Sigma_ges.	0.73			0.62			0.65		

Uranin, ausgewählte CMT-Brunnen vs. Referenz, Analytik mit HPLC

Uranin_HPLC		Datum1			Datum2			Gesamt		
ANOVA	Anzahl Faktor	6			6			12		
		Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse
klassisch	Mittelwert	0.16			0.17			0.16		
	$\Sigma(x-\bar{x})$	1.83	0.26	0.01	2.14	0.08	0.01	3.98	0.34	0.02
	Sigma	0.29	0.14	0.03	0.32	0.08	0.03	0.29	0.12	0.03
	% Varianz	79	20	1	93	6	1	85	14	1
	Sigma_ges	0.32			0.33			0.31		
robust	Mittelwert	0.04			0.04			0.04		
	Sigma	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
	% Varianz	0	91	9	20	49	31	0	80	20
	Sigma_ges	0.01			0.01			0.01		

Uranin, ausgewählte CMT-Brunnen vs. Referenz, Analytik mit Lichtleiter-Fluorometer

LLF		Datum1			Datum2			Gesamt		
ANOVA	Anzahl Faktor	6			6			12		
		Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse	Heterogenität	Probenahme	Analyse
klassisch	Mittelwert	0.41			0.39			0.40		
	$\Sigma(x-\bar{x})$	13.78	0.20	0.06	13.88	0.11	0.01	27.67	0.31	0.08
	Sigma	0.83	0.12	0.07	0.83	0.09	0.03	0.79	0.11	0.06
	% Varianz	97	2	1	99	1	0	98	2	0
	Sigma_ges	0.84			0.84			0.80		
robust	Mittelwert	0.12			0.08			0.10		
	Sigma	0.13	0.07	0.01	0.11	0.02	0.00	0.12	0.03	0.01
	% Varianz	78	22	0	95	5	0	93	6	0
	Sigma_ges	0.15			0.11			0.12		

### 10.1.5 Fotos der Messkampagne im VEGAS Großbehälter



Abb. 64: Gesamtansicht Großbehälter mit Probennahmestellen und Lichtleitermesstechnik



**Abb. 65:** 1-Zoll- und CMT-Messtellen mit Lichtleitern zur Uraninmessung



**Abb. 66:** Piezometerharfen zur Erfassung der Druckhöhen



**Abb. 67:** Referenzprobennahme im Großbehälter