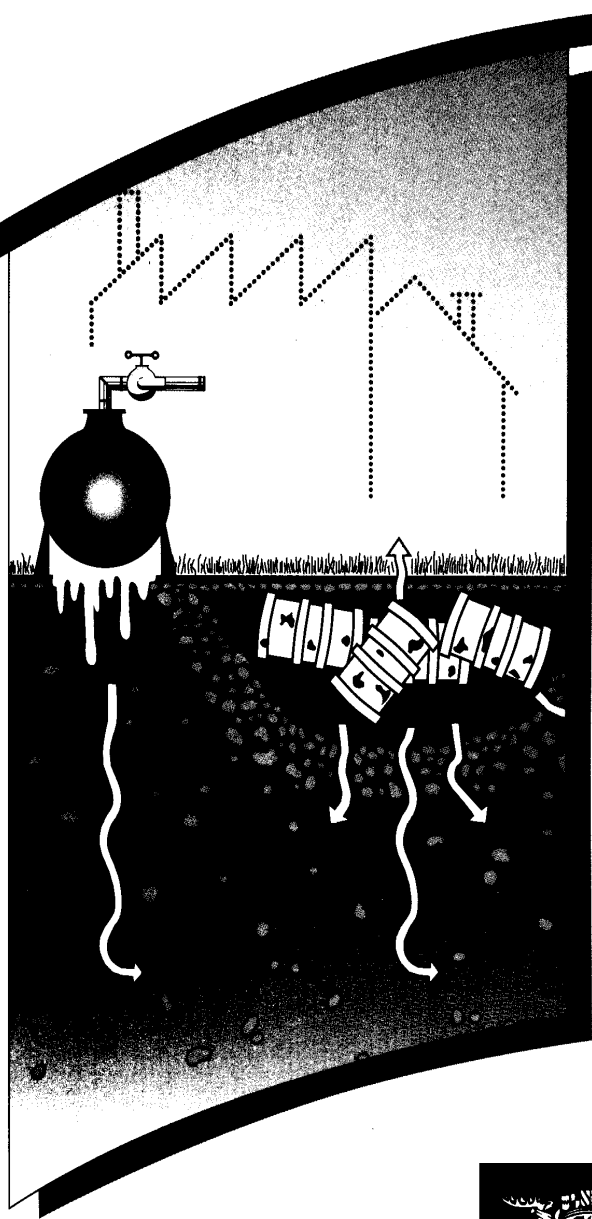


Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall - Altlasten bei
der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

**Handbuch Altlasten
und Grundwasserschadensfälle**

Vergleichende Prüfung von Vor-Ort- Analytik-Geräten in Sinsheim am Modellvorhaben ehemalige Fa. Reinig

Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung

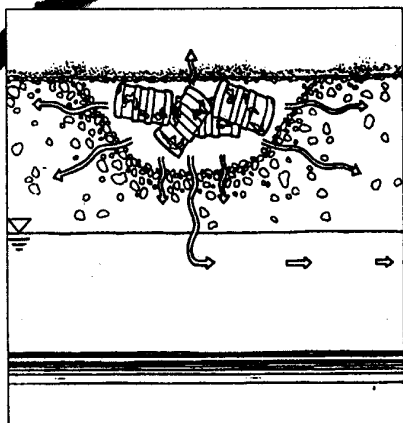


**BODEN
ABFALL
ALLASTEN**



**MINISTERIUM
FÜR UMWELT
UND VERKEHR**

Vergleichende Prüfung von Vor-Ort-Analytik-Geräten in Sinsheim am Modellvorhaben ehemalige Fa. Reinig



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 1996



Altlastenfachinformation im WWW

Impressum

Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe

Redaktion: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten
Referat 55 – MABOWEG
Frieder Kern
Dr. Arno Maurer

Verfasser: Christine Eberle
Ingenieurbüro Röver und Partner
Neuhofstr. 1
64625 Bensheim

Karlsruhe, Februar 1996

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.

Inhaltsverzeichnis

VORBEMERKUNG	1
1. ZUSAMMENFASSUNG	2
2. ZIELSETZUNG	4
3. BESCHREIBUNG DES STANDORTES	7
4. SONDIERUNGEN UND PROBENNAHME	8
5. BESCHREIBUNG DER VERFAHREN UND SYSTEME	9
5.1 GASCHROMATOGRAPHIE MIT MASSENSPEKTROMETRIE (GC/MS)	9
5.2 IR-PHOTOMETRIE	10
5.3 LASERINDUZIERTE FLUORESZENZ.....	11
5.4 IMMUNOASSAYS	12
5.5 BIOLUMINESZENZ-TEST.....	13
5.6 RÖNTGENFLUORESZENZ (RFA)	14
6. ERGEBNISSE	16
6.1 ALLGEMEINE ASPEKTE	16
6.2 BEWERTUNG DER ANALYSENERGEBNISSE	18
<i>MKW-Analytik</i>	18
<i>PAK-Analytik</i>	19
<i>PCP-Analytik</i>	21
<i>Chrom-Analytik</i>	22
6.3 BEWERTUNG DER VERFAHREN	23
<i>Gaschromatographie/Massenspektrometrie</i>	23
<i>IR-Photometrie</i>	23
<i>Laserinduzierte Fluoreszenz</i>	23
<i>Immunoassays</i>	24
<i>Biolumineszenz-Test</i>	25
<i>Röntgenfluoreszenz (RFA)</i>	25
6.4 EINSATZMÖGLICHKEITEN.....	26
7. LITERATURVERZEICHNIS	28
ANHANG	29
ANHANG 1: ÜBERSICHT STANDORT SINSHEIM.....	29
ANHANG 2: LISTE DER TEILNEHMER	31
ANHANG 3: LISTE DER GERÄTEANBIETER.....	32
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	33
TABELLENVERZEICHNIS	33
INDEXVERZEICHNIS	34

Vorbemerkung

In dieser Kurzfassung sind die wesentlichen Erkenntnisse der Feldtests Sinsheim, die im Rahmen des Projektes „Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik“ gewonnen wurden, zusammengefaßt. Die genaue Beschreibung der Feldtests und die Einzelergebnisse sind im Bericht „Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik“, Phase 3, „Feldtests Sinsheim“, Röver + Partner Dezember 1994, enthalten.

Die wissenschaftliche Begleitung der Feldtests wurde durch ein Beratergremium gewährleistet, dem neben LfU-Spezialisten folgende Personen angehörten: Frau Dr. Bilitewski (GBF Braunschweig), Herr Dr. Flachowsky (UFZ Leipzig), Herr Kübler (Mobilab Umweltanalytik GmbH, Hamburg) und Herr van Vree (TAUW Milieu, Deventer).

In der Zwischenzeit haben einige Hersteller ihr Lieferprogramm geändert. Aktuelle Informationen können unter den im Anhang angegebenen Adressen angefordert werden.

1. Zusammenfassung

Bei den **Feldtests** in Sinsheim wurden ausgewählte Methoden und Geräte der **Vor-Ort-Analytik** auf dem Gelände eines ehemaligen Sägewerks mit Holzimprägnierung erprobt. Zum Einsatz kamen einerseits chromatographische und spektroskopische Verfahren wie Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC/MS), Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), Infrarotspektrometrie (IR) und Laserinduzierte Fluoreszenz (LIF), andererseits Immunoassays und ein Toxizitätstest als biochemische Methoden. Untersucht wurden schadstoffbelastete Bodenproben mit wechselnden Gehalten an Mineralöl, PAK, PCP und Chrom. Zusammenfassend können folgende Schlüsse gezogen werden:

Das Erkundungsziel wurde mit der Vor-Ort-Analytik erreicht

Die Schadstoffverteilung am Standort konnte in einem Zeitraum von wenigen Tagen vor Ort charakterisiert werden. Die Ergebnisse der Laboranalysen wurden im großen und ganzen bestätigt. Es wurde darüber hinaus nachgewiesen, daß keine durchgängig hohen Kontaminationen, sondern inhomogene und insgesamt niedrigere Belastungen vorliegen als bisher angenommen. Die Analyse von verschiedenen organischen und anorganischen Kontaminanten wurde durch eine Kombination mehrerer Verfahren abgedeckt.

Mit Vor-Ort-Analytik sind an Ort und Stelle und innerhalb eines kurzen Zeitraums Analysenergebnisse verfügbar

Die meisten Geräte können vier bis sieben Proben pro Stunde analysieren. Die Kosten für eine Vor-Ort-Analyse liegen im Schnitt unter denen der konventionellen Analytik. Die Qualifikationsanforderungen an das Bedienungspersonal sind unterschiedlich hoch; für quantitative Einzelstoffanalysen ist im allgemeinen auch ausgebildetes Personal erforderlich.

Die Analysendaten sind mit Vorbehalt zu betrachten. Besonders die Inhomogenitäten der schwierigen Matrix Boden wirkten sich, wie im übrigen auch bei konventioneller Laboranalytik, in großen analytischen Streubreiten aus. Einige der getesteten Geräte waren Neuentwicklungen, die noch nicht ausreichend vorbereitet oder erprobt waren.

Alle Verfahren erwiesen sich als feldtauglich

- d.h. transportabel, netzunabhängig und außerhalb eines eingerichteten chemischen Labors funktionsfähig. Aufgrund der guten Witterungsbedingungen während der Feldtests konnte die Störanfälligkeit gegenüber klimatischen Einflüssen nicht beurteilt werden. Den ursprünglichen Anspruch einer Messung ohne Probenvorbereitung erfüllten - mit Einschränkungen - nur wenige Methoden (Laser- und Röntgenfluoreszenz; ohne Quantifizierung auch GC/MS).

Vor-Ort-Analytik bietet strategische Vorteile

Vor-Ort-Methoden weisen i.a. gegenüber der konventionellen Analytik verkürzte Analysenzyklen auf, die durch vereinfachte Probenaufbereitungs- und Meßverfahren erreicht werden. Dies kann zwar, in Verbindung mit potentiellen Störeinflüssen vor Ort, zu Einschränkungen bei der Aussagekraft der Meßergebnisse führen, jedoch hat der Analytiker den seltenen Vor-

teil, direkten Einfluß auf die Probennahme und alle Verarbeitungsschritte nehmen zu können. Eine Veränderung der Proben durch längere Lagerung oder Transport wird vermieden und die Probennahme- und Analysenstrategie kann ständig optimiert werden.

Vor-Ort-Analytik ist vielseitig einsetzbar

Konkrete Einsatzbereiche für Vor-Ort-Analytik in der Altlastenbearbeitung zeichnen sich ab, vor allem als Screeninginstrument bei der orientierenden Erkundung von altlastverdächtigen Flächen sowie bei der näheren Erkundung zur Verdichtung von Sondierpunkten und zur Vorauswahl weniger, gut platzierter Laborproben. Bei der Steuerung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen können z.B. durch Aussonderung schwach belasteter Bodenchargen Entsorgungskosten eingespart werden.

Entsprechend der örtlichen Situation und der jeweiligen Fragestellung ist eine enge Zusammenarbeit von Anwendern (z.B. Ingenieurbüros) und Herstellern erforderlich.

Weitere z.T. bereits bewährte Einsatzgebiete für mobile Meßtechnik sind Deponieeingangskontrollen, Störfallbearbeitung und Arbeitsschutz.

2. Zielsetzung

Einführung

Um die bei der Untersuchung von Altablagerungen und Altstandorten übliche zeit- und kostenintensive Analytik im Labor zu entlasten, werden zunehmend mobile Meßtechniken (Vor-Ort-Analytik) eingesetzt. Schnelle, vor Ort verfügbare Analysenergebnisse ermöglichen hohe Standortinformationsdichten, gezielte Probennahmen für Laboranalysen und flexiblere Erkundungs- und Sanierungsstrategien. Das Angebot an entsprechenden Verfahren und Geräten ist relativ unübersichtlich, und viele der innovativen Technologien sind noch nicht ausreichend erprobt.

Aus diesem Grund startete die Landesanstalt für Umweltschutz 1992 das Projekt "Studie über die Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik", wobei unter Analytik mit Sensortechnik in diesem Zusammenhang ursprünglich Analytik ohne Probennahme bzw. ohne Probenvorbereitung verstanden wurde. Es zeigte sich aber rasch, daß diese Kriterien nur von wenigen Geräten voll erfüllt werden. Deshalb wurden in die Betrachtung auch solche Geräte einbezogen, die geeignet sind, außerhalb eines eingerichteten chemischen Labors Analysendaten über umweltrelevante Inhaltsstoffe zu liefern.

Literaturstudie

In einer umfassenden internationalen **Literaturrecherche und Markterhebung**, die zunächst von der Arbeitsgemeinschaft Röver+Partner/TAUW und später mit gezielterer Fragestellung durch die

- Universität Stuttgart
- Institut für System- und Innovationsforschung Karlsruhe
- MOBILAB Hamburg MM1 Umweltanalytik GmbH
- Technische Universität München
- Gesellschaft für Biotechnologische Forschung Braunschweig

durchgeführt wurde, wurden Geräte ausgesucht, die für die Fragestellung der Vor-Ort-Analytik geeignet erschienen. Daraus ergab sich die Geräteliste (Stand 1992) nach Tabelle 1, aus der die jeweiligen Geräte für die späteren Feldtests ausgewählt wurden. Die Liste erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Feldtests

Im Oktober 1994 wurden erste **Feldtests** mit elf ausgewählten Geräten am Standort Sinsheim auf dem Gelände eines ehemaligen Sägewerks durchgeführt. Auf dem Grundstück wurden die Parameter MKW, PAK, PCP und Chrom im Boden teilweise in erheblichen Konzentrationen vorgefunden.

Da der finanzielle Rahmen es nicht zuließ, alle für das in Sinsheim vorhandenen Stoffspektrum grundsätzlich in Frage kommenden Produkte zu testen, wurde aus Tabelle 1 eine Vorauswahl getroffen. Aus dieser Wahl kann und soll keine Wertung abgeleitet werden.

Meßprinzip	Gerät (Hersteller)	Parameter													
		Toxizität	organische Parameter	Cyanid	VOC	Methan	Metalle	BSB	CKW	BTEX	PAK	MKW	PCB	PCP	Artenver-bündelungen
Lumineszenz:	• LumisTox (Dr. Lange) • Microtox (Microbics/Heyl)	+													
Immunoassay:	• Rapid Assy (Baker) • Envicheck (Dräger) • D-Tech (Merck) • Envirogard (Millipore)									+	+	+	+	+	
Photometrie:	• CN-Autoanalyser (Skalar)			+											
Fiberoptische Spektrometer:	• SPEC (O.K.TEC) • Fiberoptische Sonden (Polytec)		+		+										
Flammenionisationsdetektor (FID):	• OAV 128 (Ansyco)					+									
Elektrochemie:	• PDV 2000 (GAT) • BSB5-Kurzzeit (LAR)						+		+						
Infrarotspektrometrie (IR):	• OCMA 220 (Horiba) • TPH-Analysator (Wolters) • Multigasmonitor 1301/1302 (Brüel&Kjaer) • Miran 1b (Ansyco)		+						+				+		
Fluoreszenz:	• Feldfluorometer 10-AU (GAT)					+									
Laserinduzierte Fluoreszenz:	• PAK-Lasersonde (LaserLab Berlin)										+				
Röntgenfluoreszenz (XRF):	• SpecTrace 6000 (Noran) • SpecTrace 9000 (Noran) • X-Mat 920 (Outokumpu)							+							
Kapillarelektrophorese:	• Quanta 400 (Waters)							+							
ICP/OES:	• SpectroPrep (CEM)							+							
Gaschromatographie (GC):	• Quad 400 (MIT) • 8610 (SRI) • Scentograph (Sentex) • Modell 311 (hnu) • HC 1010 (Air motec)					+			+	+					
Gaschromatographie mit Massenspektrometrie (GC/MS):	• MM1 (Bruker) • EM 640 (Bruker) • Spectra Trak (Viking)		+		+				+	+	+	+	+	+	
Ionenmobilitätsspektroskopie (IMS)	• AVM Grasby (Air motec) • Raid 1 (Bruker-Saxonia) • Raid 2 (Bruker-Saxonia)					(+)								+	

Tabelle 1: Auswahl feldtauglich eingeschätzter Analysengeräte nach Literaturrecherche und Markterhebung (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Zu beurteilen waren:

- die analytischen Anwendungsbereiche der einzelnen Verfahren und ihre Eignung im Hinblick auf das Erkundungsziel
- die Funktion und Handhabung der Geräte im Hinblick auf eine mobile, schnelle und kostengünstige Analytik
- die Praxistauglichkeit und Zuverlässigkeit der Verfahren unter Feldbedingungen

Die Analysenqualität (im Sinne eines DIN-Ringversuchs) sollte in dieser Phase nicht bewertet werden. Daher wurde die Auswahl der Analysenverfahren und die Anwendung von Qualitätssicherungsmaßnahmen den Teilnehmern selbst überlassen. Die Untersuchung am Standort Sinsheim sollte aber klären, ob der Einsatz von Vor-Ort-Analytik eine Aussage über die Belastung und Schadstoffverteilung des Areals erlaubt, die mit dem Ergebnis der konventionellen Erkundungsstrategie (Laboranalytik) vergleichbar ist.

Die Ergebnisse der Feldtests sollen den mit der Erkundung von Altlasten oder Überwachung der Abfallbeseitigung befaßten Behörden und Institutionen als Hilfe bei der Auswahl geeigneter Methoden und Geräte dienen. Dadurch sollen auch Impulse für die Weiterentwicklung der Methoden und Geräte bis zur Praxisreife beziehungsweise Normung gesetzt werden, um die Akzeptanz für Vor-Ort-Analysenmethoden zu erhöhen.

Die in Tabelle 2 aufgeführte Firmen nahmen an den Feldtests zur Vor-Ort-Analytik in Sinsheim mit ihren Geräten teil.

Tabelle 2: Teilnehmer der Feldtests in Sinsheim

Firma/Teilnehmer	Produkt	Verfahren/Meßprinzip
Mobilab GmbH	MM1	GC/MS
Bruker-Franzen	EM 640	GC/MS
Wolters	TPH-Analysator	IR-Photometer
LLA Umwelttechn. Analytik u. Anlagen	PAK-Lasersonde	Laserinduzierte Fluoreszenz
Baker	Rapid Assay	Immunoassay (ELISA)
Dräger	Envi-Check	Immunoassay (ELISA)
Merck	D TECH®	Immunoassay (ELISA)
Millipore	Envirogard	Immunoassay (ELISA)
Dr. Lange	LUMISmini	Leuchtbakterientest
Mobilab GmbH	SPECTRACE 6000	Röntgenfluoreszenz (RFA)
NORAN Instruments	SPECTRACE 9000	Röntgenfluoreszenz (RFA)

3. Beschreibung des Standortes

Für die Feldtests wurde der Standort eines **ehemaligen Sägewerkes** ausgewählt, auf dem in einigen Bereichen regelmäßig, in anderen Bereichen sporadisch Holz mit Holzschutzmitteln unterschiedlichster Zusammensetzung behandelt wurde. Durch unsachgemäßen Gebrauch dieser Mittel kam es hier wie an ähnlichen Standorten zu Kontaminationen des Untergrundes. Diese waren in ihrem Ausmaß bekannt, weil dieser Standort seit 1992 als „Vorhaben mit Modellcharakter“ sehr eingehend untersucht wurde, um daraus allgemeingültige Erkenntnisse für die Bearbeitung ähnlich gelagerter Fälle zu gewinnen. So waren Art und Verbreitung der dort vorhandenen Schadstoffkontaminationen durch insgesamt 1.100 Laboranalysen belegt.

Das Areal liegt in Sinsheim, Landkreis Rhein-Neckar. Das Grundstück umfaßt etwa 20.000 m². Bis in die fünfziger Jahre wurde das Unternehmen als reiner Sägewerksbetrieb geführt. Danach wurden in steigendem Maße Tauch- und Spritzimprägnierungen durchgeführt. Dafür wurden wasserlösliche und ölige beziehungsweise ölartige Präparate verwendet.

Am Standort zurück blieben Kontaminationen des Untergrundes durch Chrom (Cr) bis maximal 1.200 mg/kg, Pentachlorphenol (PCP) bis 380 mg/kg und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bis 1.800 mg/kg (siehe Übersicht in Anlage 1). Zur Sägerei gehörte auch ein Kettenförderer, der damals mit Altöl geschmiert wurde. Ständige Tropfverluste führten zur Kontamination des Untergrundes mit Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) bis 12.000 mg/kg.

Die obere Bodenschicht in Sinsheim besteht aus einer Auffüllung mit wechselnder Mächtigkeit, die von wenigen Zentimetern bis über einen Meter betragen kann. Darunter steht bis 5-7 m Tiefe gewachsener Boden aus überwiegend organischen Schluffen mit wechselnden Anteilen von Ton- und Sandfraktionen an. Im Liegenden befindet sich ein verlehmters Talkies mit ca. 2-3 m Mächtigkeit als Abschluß der quartären Talfüllung. Das darunter folgende Festgestein wird von Ton-/Schluffsteinen des Keupers gebildet.

4. Sondierungen und Probennahme

In den mit MKW, PAK und Chrom kontaminierten Bereichen (s. Lageplan Anlage 1) wurden jeweils zwölf, im Bereich der PCP-Kontamination vier Schlitzbohrungen (Außendurchmesser 80 mm) bis zu einer Tiefe von 1,5 m abgeteuft. Daraus ergaben sich insgesamt 40 Bohrungen.

An zehn Bohrpunkten wurden Tiefenprofile erstellt, dabei wurde alle 20 cm bis 1,2 m je eine Probe entnommen.

Aus den anderen Bohrkernen wurden mindestens je drei Proben aus den Tiefen bis 0,3 m, bis 1,2 m und tiefer als 1,2 m (als Rückstellproben) entnommen.

Insgesamt ergaben sich 120 Proben, davon

- je 36 Proben für die Bereiche MKW, PAK und Chrom
- 12 Proben aus dem PCP-Bereich.

Aus den genannten Tiefen wurden jeweils ca. 1000 g Probenmaterial in Gläser gefüllt. Diese wurden mit Twist-off-Deckeln verschlossen. Die Proben wurden bis zur Analyse kühl, trocken und dunkel gelagert. Auf eine Probenhomogenisierung durch Mischen oder Mahlen seitens der Projektleitung wurde verzichtet, da das Ziel der Tests in erster Linie die Prüfung der Praktikabilität der Geräte im Feldeinsatz war. Bei einer schnellen Vor-Ort-Analytik kann i.a. keine Homogenisierung größerer Probenmengen durchgeführt werden. Dadurch blieb die Probenstruktur in Art und Beschaffenheit unverändert, was allerdings die spätere Bewertung der Ergebnisse erschwerte.

Die Teilnehmer des Feldtests entnahmen sich am Standort die Probenmenge, die sie für die Untersuchung benötigten. Außerdem wurden den Teilnehmern je zwei MKW- und PAK-Vergleichsproben übergeben, deren Gehalte durch Laboranalysen bestimmt waren (MKW durch GC-Analyse, PAK über HPLC).

Falls für die Analytik eine Probenaufbereitung notwendig war, wurde diese von den Teilnehmern individuell durchgeführt.

Für Arbeitsschutz und Beseitigung der bei der Analytik entstehenden Abfälle hatte jeder Teilnehmer selbst zu sorgen.

5. Beschreibung der Verfahren und Systeme

Die zur Bestimmung der vorliegenden Schadstoffe ausgewählten Verfahren und Geräte sind in nachfolgender Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Meßprinzipien und Geräteübersicht

Meßprinzip	Meßgerät (Hersteller)	MKW	PAK	PCP	Chrom	Toxizität
GC/MS	MM1 (Bruker)	+	+	+		
	EM 640 (Bruker)	+	+	+		
IR-Photometrie	TPH-Analysator (Wolters)	+				
Laserinduzierte Fluoreszenz	PAK-Lasersonde: (LLA)	+	+			
Immunoassays	Envi-Check: MKW (Dräger)	+				
	Rapid Assay: PAK (Baker)		+			
	Envi-Check: PAK (Dräger)		+			
	D TECH®: PAK (Merck)		+			
	Envirogard: PAK (Millipore)		+			
	Rapid Assay: PCP (Baker)			+		
	Envi-Check: PCP (Dräger)			+		
	Envirogard: PCP (Millipore)			+		
Biolumineszenz	LUMISmini (Dr. Lange)					+
Röntgenfluoreszenz	SPECTRACE 6000 (NORAN)				+	
	SPECTRACE 9000 (NORAN)				+	

In den folgenden Abschnitten sind die Meßprinzipien der eingesetzten Geräte, spezifische Einzelheiten des jeweiligen Systems und die bei der Durchführung angewandten Probenaufbereitungs- und Meßverfahren erläutert.

5.1 Gaschromatographie mit Massenspektrometrie (GC/MS)

Die **Gaschromatographie** eignet sich zur Bestimmung aller gasförmigen oder unzersetzt verdampfbaren Stoffe, also im wesentlichen von organischen Verbindungen. Eine Probe des zu untersuchenden Stoffgemisches wird in einen Trägergasstrom gebracht und durchströmt eine Trennsäule oder -kapillare mit einer speziellen Füllung bzw. Beschichtung. Stoffabhängige Wechselwirkungen in der Säule bewirken, daß die einzelnen Verbindungen unterschiedlich lange zurückgehalten werden und am Ende der Säule zeitlich getrennt austreten. Zur Detektion der austretenden Komponenten stehen verschiedene Techniken zur Verfügung.

Mit einem nachgeschalteten Massenspektrometer lassen sich gleichzeitig Aussagen über Art und Menge der jeweiligen Substanz machen (Identifizierung und Quantifizierung). Dazu werden die austretenden Teilchen ionisiert und die gebildeten Molekülonen, die zum Teil zerfal-

len, entsprechend ihrem Verhältnis Masse/Ladung in einem Magnetfeld aufgetrennt. Das Muster der auftretenden Fragmente kann einem bestimmten Stoff zugeordnet werden.

Das **MM1 der Fa. Bruker** ist bei Mobilab in einem umgebauten Wohnmobil untergebracht. Das Gerät kann mit einem Generator netzunabhängig betrieben werden; in Sinsheim wurde jedoch ein vorhandener Stromanschluß benutzt. Als Trägergas dient die Umgebungsluft, die ständig über einen Filter angesaugt wird.

Für die Analyse von Bodenproben stellte Mobilab Ultraschallextrakte her. Dazu wurden je 3 g Boden mit 10 ml Aceton und internen Standards versetzt und 5 min im Ultraschallbad extrahiert. Nach Zentrifugieren wurde ein Aliquot auf einen austauschbaren Träger gegeben, durch eine beheizbare Schnelleinlaßsonde injiziert und auf einer kurzen (3,5 m) Kapillarsäule getrennt. Die Detektion erfolgte über ein Quadrupol-Massenspektrometer mit Membranseparator. Das eingesetzte Gerät war mit 30 Meßpunkten pro Substanz durchkalibriert. Die Quantifizierung erfolgte in Bezug zu den deuterierten internen Standards. Die MKW wurden als Summensignal über die Ionenspur 71 (Masse eines für Kohlenwasserstoffe typischen Alkylfragments) bestimmt, die PAK als Einzelwerte (13 von 16 EPA-PAK), die anschließend aufsummiert wurden. Die Bestimmungsgrenzen liegen im ppm-Bereich, abhängig von der Stoffart. Für die MKW-Analytik wurde die Bestimmungsgrenze willkürlich auf 160 mg/kg festgelegt, was im Bereich der Hintergrundbelastung liegt.

Das MM1 bietet die Möglichkeit, einen weiten Bereich von organischen Kontaminationen in einem Probenlauf zu erfassen (Screening). Dadurch kann ein besseres Gesamtbild der Schadstoffzusammensetzung gewonnen werden.

Das **EM 640 von Bruker** wurde speziell für den Umweltbereich aus dem MM1 entwickelt und ist moderner, kompakter und umfassender analytisch einsetzbar als das MM1. Auch das EM 640 benötigt ein Fahrzeug, in das es eingebaut wird. Bruker hat das Gerät in einen Mercedes-Transporter eingebaut. Ebenso wie beim MM1 kann das Gerät mit einem Generator betrieben werden, in Sinsheim wurde jedoch gleichermaßen der Stromanschluß benutzt.

Die technischen Details sind im wesentlichen dieselben wie beim MM1. Auch für die Möglichkeit des Schadstoffscreenings gilt das oben Gesagte. Da das EM 640 noch nicht lange auf dem Markt war, lagen noch keine Erfahrungen aus Feldeinsätzen vor. Daher war das Gerät auch nicht zuvor für die geforderten Analysen kalibriert worden. Bruker stellte keine eigenen Extrakte für die GC/MS-Analysen her, sondern übernahm aus zeitlichen Gründen die Extrakte von Mobilab, welche wie erwähnt das MM1 von Bruker einsetzte.

5.2 IR-Photometrie

Durch Absorption von elektromagnetischer Strahlung im Infrarot-Bereich werden in einem Molekül unterschiedliche Schwingungen von Atomen oder funktionellen Gruppen angeregt. Gemessen wird die Schwächung der Strahlung (Absorption) beim Durchgang durch eine bestimmte Schichtdicke einer Probe.

Bei der Bestimmung von Mineralölkohlenwasserstoffen werden lediglich die Streckschwingungen der C-H-Bindungen ausgewertet und als Summenparameter gemessen. Über die Art einzelner Kohlenwasserstoffe ist keine Aussage möglich.

Der **TPH-Analysator von Wolters** wiegt ca. 10 kg, wird über Akkus oder 12V-Adapter mit Strom versorgt und kann z.B. in einem Kofferraum aufgebaut und betrieben werden.

Die angewandte Methode orientiert sich an der DIN 38409 (H18). Es werden prinzipiell alle Stoffe mit CH-, CH₂- und CH₃-Gruppen erfaßt. Eine Abtrennung der polaren Begleitstoffe erfolgt allerdings nicht. Der Analysator benutzt IR-Interferenzfilter mit mehreren festen Wellenlängen und kann daher wie stationäre IR-Photometer zwischen CH-Gruppen aliphatischer und aromatischer Kohlenwasserstoffe unterscheiden.

Die Probenaufbereitung erfolgt durch Extraktion von 5 g Boden mit 5 ml Trifluortrichlorethan für 30 min in einer speziellen Schüttelapparatur. Danach wird abfiltriert und der Extrakt in einer Küvette IR-photometrisch vermessen. Kalibriert wird extern mit einem Standardöl; der lineare Meßbereich liegt zwischen ppm und %.

5.3 Laserinduzierte Fluoreszenz

Durch Laserlicht werden manche Moleküle in höhere elektronische Zustände angeregt und geben ihre Energie als charakteristische Fluoreszenz-Strahlung wieder ab. Diese Fluoreszenz-Strahlung wird gemessen. Daher ist diese Methode nur für fluoreszenzfähige Moleküle, wie PAK, einsetzbar. Die Fluoreszenz wird durch die Matrix (z.B. Wassergehalt, Färbung, Körnung, Schwermetalle, Huminstoffe) beeinflusst.

Die **PAK-Lasersonde von LLA** wiegt etwa 30 kg, ist akkubetrieben und kann z.B. im Kofferraum eines PKW aufgebaut und benutzt werden. Zur Auswertung wird ein Laptop angeschlossen.

Die Lasersonde arbeitet auf der Grundlage der zeitaufgelösten Laser-Fluoreszenz-Spektroskopie. Durch die Verwendung von Lichtleitern kann die Sonde bis zu 30 m tief eingebracht werden. Mit dem Gerät kann die Summenbelastung von PAK im Wasser und in Böden bestimmt werden. Bei Messungen an Bodenproben ist der Matrixeinfluß des Bodens zu berücksichtigen, z.B. durch Kalibrierung mit einer unbelasteten Probe. Die qualitative Beurteilung von MKW-Kontaminationen ist nach Angaben von LLA indirekt über die Bestimmung der in Mineralöl stets enthaltenen PAK möglich.

Der eigentliche Meßvorgang läuft in etwa einer Minute ab. Das Gerät ist standardmäßig auf PAK nach EPA kalibriert. Der Meßbereich (in Wasser) liegt zwischen 0,1 und 1000 µg/l.

5.4 Immunoassays

Mit **Immunoassays** werden Stoffe analysiert, die im biologischen System Immunreaktionen (Produktion von Antikörpern) hervorrufen. Die Immunoassays bedienen sich der spezifischen Antigen-Antikörper-Reaktion. Die Antigene sind in diesem Fall Schadstoffmoleküle. Die dazu passenden Antikörper sind auf einer Festkörperoberfläche (Gefäßwand oder Partikel) immobilisiert. Sind in der Analysenlösung Schadstoffmoleküle vorhanden, verdrängen sie andere, speziell markierte Antigene aus ihrer Verbindung mit den Antikörpern. Die Markierung besteht meist aus einem Enzym, das eine bestimmte Farbstoffbildung hervorruft. Das Ausmaß der Färbung ist also ein reziprokes Maß für die Schadstoffkonzentration, denn je mehr markierte Antigene verdrängt werden, desto weniger Enzymaktivität bleibt für die Farbreaktion übrig, die anschließend kolorimetrisch oder photometrisch bestimmt wird.

Diesen Mechanismus, bei dem enzymmarkierte Antigene aus ihrer Verbindung mit festphasengebundenen Antikörpern verdrängt werden, nennt man kompetitiven ELISA (Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay). Inzwischen sind ELISAs für eine ganze Reihe von Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen erhältlich, die semiquantitative oder quantitative Analysen ermöglichen. Die Antikörper sind auf bestimmte Leitmoleküle zugeschnitten, reagieren aber mit strukturverwandten Substanzen ebenfalls in geringerem Maße (Kreuzreaktivität). Dieser Effekt ist bei summarisch erfaßten Stoffgruppen wie PAK oder PCB durchaus beabsichtigt, erschwert aber die quantitative Bewertung, da die Stoffgruppen, je nach Herkunft, bezüglich des Anteils der Leitsubstanz sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein können. Die Informationsschriften der Hersteller zu den einzelnen Testkits geben Aufschluß über die Querempfindlichkeiten.

Immunoassays sind als einfache, tragbare Feldlabors ausgeführt und können z.B. im Kofferraum eines PKWs oder auf einem Klapptisch aufgebaut und benutzt werden. Der eigentlichen Bestimmung geht immer eine Extraktion der Bodenprobe mit einem geeigneten Lösemittel und ein Filtrationsschritt zur Abtrennung der Bodenpartikel voraus. Entsprechendes Zubehör ist in den Testkits enthalten oder muß zusätzlich erworben werden.

Mit dem **Rapid Assay von Baker** können jeweils quantitative Analysen für **PAK** oder **PCP** bis in den ppb-Bereich durchgeführt werden (nach einer 4-Punkt-Kalibrierung mit PCP-Standards). Eine Besonderheit des Baker Immunoassays ist, daß die Antikörper an Magnetpartikel gebunden sind. Daher können die überschüssigen Reaktanden mit einem Magnettrack abgetrennt werden, was die Handhabung des Tests deutlich vereinfacht.

Mit dem **Envi-Check von Dräger** sind halbquantitative Aussagen für die Parameter MKW, PAK oder PCP möglich, da die Ergebnisse nicht als Konzentrationsangaben, sondern in folgenden Wertebereichen geliefert werden.

MKW: < 15 mg/kg, 15-150 mg/kg, > 100 mg/kg

PAK: < 1 mg/kg, 1-10 mg/kg, 10-100 mg/kg, > 100 mg/kg

PCP: < 0,5 mg/kg, 0,5-5 mg/kg, 5-50 mg/kg

Für die Durchführung von Bodenanalytik vor Ort ist zusätzlich die Feldtestausrüstung Envi-Lab zur Herstellung der Bodeneluat erforderlich.

Der **D TECH® von Merck** wurde in Sinsheim für den Parameter PAK eingesetzt. Dabei wurde mit folgenden Wertebereichen gearbeitet:

PAK: < 1 mg/kg, 1-5 mg/kg, 5-10 mg/kg, > 25 mg/kg

Der Anwender kann wählen, ob er eine halbquantitative oder quantitative Auswertung wünscht. Für die halbquantitative Auswertung wird die Verfärbung der Probe visuell mit einer mitgelieferten Farbkarte verglichen, woraus sich Wertebereiche ergeben. Für die quantitative Analytik ist ein speziell für diese Zwecke entwickeltes Reflektometer notwendig. Beim D TECH® werden die Antikörper auf Latexpartikeln immobilisiert, die Farbreaktionen läuft auf einem Filter ab.

Der **Envirogard von Millipore** wurde in Sinsheim für die Parameter PAK und PCP eingesetzt. Dabei wurde mit folgenden Wertebereichen gearbeitet:

PAK: < 1 mg/kg, 1-10 mg/kg, > 10 mg/kg

PCP: < 10 mg/kg, 10-100 mg/kg, > 100 mg/kg

Um die Filtration des Bodenextrakts zu vereinfachen, hat Millipore ein neues System entwickelt, das den Vorgang beschleunigt.

5.5 Biolumineszenz-Test

Für den Lumineszenz-Test (genormt als DIN 38 412 Teil 34) werden Leuchtbakterien (*Photobacterium phosphoreum*) eingesetzt. Diese besitzen die Fähigkeit, ein kaltes Leuchten (Biolumineszenz) hervorzubringen. Die Mechanismen der Leuchtreaktion, die von dem Enzym Luciferase katalysiert werden, sind an den bakteriellen Gesamtstoffwechsel angebunden. Dadurch ist es möglich, eine Beeinträchtigung von Prozessen des Gesamtstoffwechsels infolge der Toxizität der Probe über eine Beeinträchtigung der Leuchtreaktion zu erfassen.

Je toxischer eine Probe im Leuchtbakterientest auf den Gesamtstoffwechsel der Bakterien wirkt, desto stärker wird das Leuchten im Vergleich zur unbelasteten Kontrolle gehemmt. Dadurch sind Rückschlüsse auf eventuell im Boden vorliegende Schadstoffe möglich.

Der **LUMISmini von Dr. Lange** ist eine feldfähige Abwandlung des DIN-Verfahrens. Die Leuchtintensität wird mit einem tragbaren Photometer mit LC-Display gemessen. Der Test ist handlich und kann ohne Probleme im Kofferraum oder auf einem Klapp Tisch aufgebaut werden. Zur Bestimmung der Leuchthemmung wird ein wässriger Bodenextrakt (2 g Boden mit 8 ml 2%iger NaCl-Lösung 10-15 min schütteln) hergestellt. Die Aussagen beschränken sich dadurch auf die Anwesenheit wasserlöslicher bzw. bioverfügbarer Schadstoffe. Die Ergebnisse werden nicht in mg/kg oder ppm angegeben, sondern in Prozent der Hemmung der Leuchtintensität im Vergleich zu einer Referenzprobe, die nicht mit der Bodenprobe in Kontakt kommt.

5.6 Röntgenfluoreszenz (RFA)

Bei der Röntgenfluoreszenz werden durch energiereiche Strahlung die inneren Elektronen der einzelnen Elemente angeregt. Das angeregte Atom kehrt unter Abgabe von (für dieses Element) charakteristischer Fluoreszenz-Strahlung in den Grundzustand zurück. Fluoreszenz-Strahlung wird nach Intensität und Wellenlänge gemessen. Zur Anregung können Elektronen-, Ionen-, Röntgen- oder Gammastrahlen verwendet werden.

Prinzipiell können Elemente, aber keine Verbindungen bestimmt werden. Effekte der Bodenmatrix können die Quantifizierung beeinflussen. Für jede Matrix ist eine Kalibrierung erforderlich, um quantitative Ergebnisse erzielen zu können.

Das **SPECTRACE 6000 von NORAN** ist ein energiedispersives Röntgenfluoreszenz-Gerät, das in ein Fahrzeug eingebaut oder aber als Laborgerät betrieben werden kann (Gewicht ohne PC ca. 35 kg). Es benötigt eine Stromversorgung.

Strahlungsquelle ist eine Röntgenröhre mit 50 kV, als Detektor dient ein elektrisch gekühltes Si(Li)-Halbleiterelement mit einer Auflösung von 180 eV. Typische Nachweisgrenzen für umweltrelevante Schwermetalle liegen bei 5 - 15 ppm, der lineare Bereich erstreckt sich über mehrere Größenordnungen. Kalibriert wird mit zertifizierten Standards. Das Gerät kann bis zu 40 Elemente auf einmal bestimmen, in Sinsheim wurden 20 Elemente pro Messung bestimmt. Eine Probenaufbereitung (trocknen, mahlen) ist erforderlich, wenn quantitativ gearbeitet werden soll. Dazu sind spezielle Geräte (z.B. Mikrowelle zum Trocknen, Kugelmühle zum Mahlen der Proben) notwendig. Semiquantitative Schnellanalysen sind auch ohne Probenbehandlung möglich.

Das **SPECTRACE 9000** funktioniert prinzipiell gleich wie das SPECTRACE 6000, wurde aber speziell für die Vor-Ort-Analytik konzipiert. Das Gerät ist tragbar (Batteriebetrieb), einfach zu bedienen und kann für Oberflächenmessungen ohne Probenvorbereitung eingesetzt werden. Als Strahlungsquelle sind mehrere radioaktive Isotope eingebaut. Durch die gegenüber dem SPECTRACE 6000 geringere Auflösung von 300 eV liegen die Nachweisgrenzen typischerweise zwischen 15 und 90 ppm (letzteres für Chrom). Das Gerät ist ab Werk kalibriert.

Verfahren	Gaschromatographie/ Massenspektrometrie	IR-Photo- metrie	Laser- fluoreszenz	Immunoassay				Blotumi- noszenz	Röntgenfluoreszenz
				Baker Rapid Assay	Dräger Envi-Check	Merck D-TECH®	Milipore Envirogard		
Hersteller	Brüker MM1	Wolters TPH- Analysator	LLA PAK- Lasersonde	Baker Rapid Assay	Dräger Envi-Check	Merck D-TECH®	Milipore Envirogard	Dr. Lange LUMISmini	NORAN Instruments GmbH SPECTRACE SPECTRACE 9000
Teilnehmer	Mobilab GmbH Bruker-Franzen	Wolters	LLA	Baker	Dräger	Merck	Milipore	Dr. Lange	Mobilab GmbH NORAN
Mobilität	mobil	tragb. /10 kg	mobil /30 kg	tragbar	tragbar	tragbar	tragbar	tragbar	mobil /35 kg
Netzstrom	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein
Entwick- lungsstand	bewährt	bewährt	neu am Markt	neu am Markt	neu am Markt	neu am Markt	neu am Markt	bewährt	neu am Markt
Pers.-quali- fikation	hoch	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	hoch	gering (hoch*)
Personal- bedarf	2	1	1	1-2	1-2	1-2	1-2	1	1
Probenvor- bereitung	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja	nein (ja*)
Proben pro Stunde	4-5	6-10	20-30	10-15	4	6	6-9	4	5-10 (4-5*)
Ergebnisse:	quantitativ	quantitativ	quantitativ	quantitativ	semi- quantitativ	(semi-) quantitativ	semi- quantitativ	quantitativ	(semi-) quantitativ
MKW	ja	Summe	Summe	nein	Summe	nein	Summe	nein	nein
PAK	ja	nein	Summe	Summe	Summe	Summe	Summe	nein	nein
PCP	ja	nein	nein	ja	ja	nein	ja	nein	nein
Chrom	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Meßbereich (ppm)	ab ca. 1 (PAK) ab 160 (MKW) ab 10 (PCP)	1 - mehrere 1000 (MKW)	0,001 - 1 (PAK in Wasser)	> 0,05 ppb (PCP)	> 10 (MKW) 1-1000 (PAK) 0,5-50 (PCP)	< 1 - 25 (PAK)	1-10 (PAK) 10-100 (PCP)	ca. 10-10000	ca 50-10000
Investitions- kosten ca.	400.000.-	20.000.-	55.000.-	5.000.-	3.000.-	1.000.-	2.500.-	5.500.-	170.000.-
Kosten ca. DM/Analyse	150.-	30.-	6.-	40.-	70.- bis 120.-	50.-	50.-	15.-	<45.-
Anmerkung	Ultraschall- bad	FCKW als Lösemittel	Kalibrierung notwendig		viel Abfall		viel Abfall	Toxizitäts- bestimmung	Mikrowelle u. Kugelmühle
									* falls mit Probenverb.

Tabelle 4: Zusammenfassende Bewertung der in Sinsheim erprobten Geräte

6. Ergebnisse

6.1 Allgemeine Aspekte

In Tabelle 4 sind die in Sinsheim getesteten Geräte mit den am Standort gemachten Erfahrungen zusammenfassend dargestellt.

Eignung, Anwendungsbereich

Der Großteil der Verfahren ist für die Bestimmung organischer Summenparameter konzipiert. Mit GC/MS, sowie im Fall von PCP mit Immunoassays, können darüber hinaus Einzelstoffe bestimmt werden. Die Immunoassays liefern quantitative oder semiquantitative Ergebnisse. Schwermetalle, hier Chrom, lassen sich durch Röntgenfluoreszenzanalyse quantitativ bestimmen. Die Meßbereiche decken dabei im allgemeinen den für die Altlastenbearbeitung relevanten Konzentrationsbereich ab.

Der Leuchtbakterientest reagiert zwar auf toxische Verbindungen, ließ aber im Feldtest keine Korrelationen zu den gesuchten Parametern erkennen. Der TPH-Analysator war für die PAK-Bestimmung in Sinsheim nicht geeignet. Die Lasersonde liefert ohne weitergehende Anpassung nur qualitative Ergebnisse.

Feldfähigkeit

Alle Geräte erwiesen sich als feldfähig, d.h. sie sind transportabel und außerhalb eines eingerichteten chemischen Labors funktionsfähig. Trotz im allgemeinen robuster Konstruktion gab es Ausfälle durch Glasbruch oder Rechnerprobleme. Einige Geräte (MM1, EM 640, SPECTRACE 6000) benötigen Netzstrom, der gegebenenfalls mit einem Generator erzeugt werden muß. Die anderen Geräte sind tragbar und werden mit Akkus oder über Autobatterie betrieben. Da das Wetter während der Feldtests ausgesprochen gut war, kann die Störanfälligkeit der Geräte gegen Witterungseinflüsse nicht beurteilt werden. Immunoassays z.B. benötigen zum Ablauf der biochemischen Reaktionen eine gewisse Mindestumgebungstemperatur.

Handhabung

Nur wenige Geräte (Lasersonde und SPECTRACE 9000) erfüllen -mit Einschränkungen- den ursprünglichen Anspruch einer schnellen Messung ohne Probenvorbereitung. Für orientierende Untersuchungen kommen auch das SPECTRACE 6000 und das MM1 (mit Bodensonde) ohne Probenvorbereitung aus. Einige der getesteten Geräte sind Neuentwicklungen, deren praktische Anwendung noch nicht ausreichend erprobt ist bzw. die ungenügend vorbereitet waren.

Mit der Qualität der Analysenergebnisse steigt auch die Anforderung an Qualifikation des Bedienungspersonals, daher kann für GC/MS und RFA (mit Probenvorbereitung) nur geschultes und qualifiziertes Personal eingesetzt werden, während für die übrigen Geräte eine kurze Einführung und etwas Übung bei der Durchführung meist ausreicht.

Mit dem Großteil der Verfahren können vier bis sieben Proben pro Stunde analysiert werden. Die Ausnahme sind der Rapid Assay von Baker, der auf Massendurchsatz ausgelegt ist und daher 10-15 Proben pro Stunde bearbeiten kann, und die PAK-Lasersonde, die ohne Probenaufbereitung arbeitet und daher 20-30 Ergebnisse pro Stunde liefern kann.

Kosten

Die Kosten für eine Vor-Ort-Analyse liegen im Schnitt unter denen der konventionellen Analytik.

Bei den Investitionskosten für die Geräte ist die Spanne groß, sie liegt zwischen ca. 1000.- DM (D TECH® Merck für semiquantitative Ergebnisse) und 400.000,- DM für das MM1. Bei den Kosten pro Analyse wurden die Personalkosten (120,- DM/h bei MM1, EM 640 und SPECTRACE 6000 wegen den höheren Anforderungen an das Personal, bei den übrigen Geräten 80,- DM/h), die Verbrauchskosten und die Abschreibung berücksichtigt. Bei der Berechnung der Abschreibung wurden folgende Werte zugrundegelegt: Nutzungsdauer: 5 Jahre; Zinsen: 7%; 248 Arbeitstage/Jahr zu 8 h; Auslastung: 60 %. Laboranalysen der in Sinsheim relevanten Parameter kosten je Probe ca. DM 75.- (Chrom), 100.- (MKW nach H18), 200.- (PCP) bzw. 250.- (PAK, 16 EPA).

Am günstigsten ist mit ca. 6,- DM/Analyse die PAK-Lasersonde, für die kein Verbrauchsmaterial notwendig ist und bei der die Personalkosten durch den hohen Probendurchsatz auch gering sind. Am teuersten waren in Sinsheim die GC/MS-Messungen (135.- bzw. 150.- DM) sowie der Dräger Envi-Check mit ca. 70 - 120,- DM/Analyse.

Bei Verfahren mit hohen Investitionskosten und hohem Personalaufwand sind die Kostenunterschiede zwischen Labor- und Feldanalytik z.T. nur gering. Instrumentelle Vor-Ort-Methoden wie GC/MS und RFA bieten jedoch die Möglichkeit, in einem Analysendurchgang mehrere Parameter ohne zusätzliche Kosten zu bestimmen. Durch ein Probenvorscreening kann außerdem die Anzahl der Laboranalysen verringert werden. Die Zeitersparnis durch Vor-Ort-Analytik kann sich nachhaltig auf die Gesamtkosten einer Sanierung auswirken, da zeitnahe Entscheidungen möglich werden und so oft teure Verzögerungen, Unterbrechungen oder Hilfsmaßnahmen wie das Zwischenlagern von Aushubmaterial vermeidbar sind.

Strategische Vorteile der Vor-Ort-Analytik

Vor-Ort-Methoden weisen i.a. gegenüber der konventionellen Analytik verkürzte Analysenzyklen auf, die i.a. durch vereinfachte Probenaufbereitungs- und Meßverfahren erreicht werden. Dies kann zwar, in Verbindung mit potentiellen Störeinflüssen vor Ort, zu Einschränkungen bei der Aussagekraft der Meßergebnisse führen, jedoch hat der Analytiker den seltenen Vorteil, direkten Einfluß auf die Probennahme und alle Verarbeitungsschritte nehmen zu können. Eine Veränderung der Proben durch längere Lagerung oder Transport wird vermieden und die Probennahme- und Analysenstrategie kann ständig optimiert werden.

6.2 Bewertung der Analysenergebnisse

Die Schadstoffverteilung am Standort konnte in einem Zeitraum von wenigen Tagen vor Ort charakterisiert werden. Die Ergebnisse der Laboranalysen wurden im großen und ganzen bestätigt. Es wurde darüberhinaus nachgewiesen, daß keine durchgängig hohen Kontaminationen, sondern inhomogene und insgesamt niedrigere Belastungen vorliegen als bisher angenommen.

Im folgenden werden einige Ergebnisse der jeweils für einen bestimmten Parameter eingesetzten Verfahren dargestellt. Es ist zu berücksichtigen, daß hier hochpräzise instrumentelle Verfahren einfachen Testkits gegenübergestellt werden. Zur schnellen Beurteilung, ob ein Schadstoffgehalt in einem bestimmten Ergebnisintervall liegt (z.B. oberhalb oder unterhalb eines Prüfwerts), sind jedoch alle Systeme prinzipiell gleichermaßen geeignet. Aufwendige Verfahren wie GC/MS erlauben eine genauere Charakterisierung der Schadstoffe und liefern darüberhinaus weitere teils wertvolle, teils redundante Informationen.

Da bei den Feldtests bewußt keine verbindlichen Vorgaben zur individuellen Probennahme, -aufbereitung und Analysenqualität gemacht wurden, treten bei den Meßergebnissen insgesamt große Streuungen auf, wobei sich hier die Inhomogenitäten der Matrix Boden besonders gravierend auswirken. Es ist anzunehmen, daß die Probennahmefehler insgesamt höher als die eigentlichen Analysenfehler sind. Um eine unberechtigte Abwertung einzelner Methoden anhand der Meßwerte zu vermeiden, werden in den Abbildungen nur die Ergebnisse der Vergleichsproben dargestellt, die im allgemeinen den richtigen Trend wiedergeben.

MKW-Analytik

Für die MKW-Analytik wurden ein GC/MS (MM1), das IR-Photometer, die Lasersonde, ein Immunoassay (Dräger Envi-Check) und der Biolumineszenztest eingesetzt. Zwischen den Ergebnissen von GC/MS, IR-Photometer und Lasersonde sind gute Übereinstimmungen mit Korrelationskoeffizienten zwischen 0,85 und 0,91 festzustellen. Der Immunoassay und der Biolumineszenztest weisen keine Korrelation zu den anderen Verfahren auf. In Abb. 1 werden die Ergebnisse für zwei Vergleichsproben, ergänzt durch Labordaten, dargestellt. Hier weisen alle Verfahren zumindest den richtigen Trend auf. Für eine Bewertung z.B. hinsichtlich des Prüfwerts Boden (Schutzgut Pflanzen; P-P-Wert) von 400 mg/kg eignen sich GC/MS, IR-Photometrie sowie Immunoassay (die Meßstufe kann durch geeignete Verdünnungsschritte angepaßt werden). Mit den anderen Verfahren kann der Schadstoffgehalt nicht quantifiziert werden.

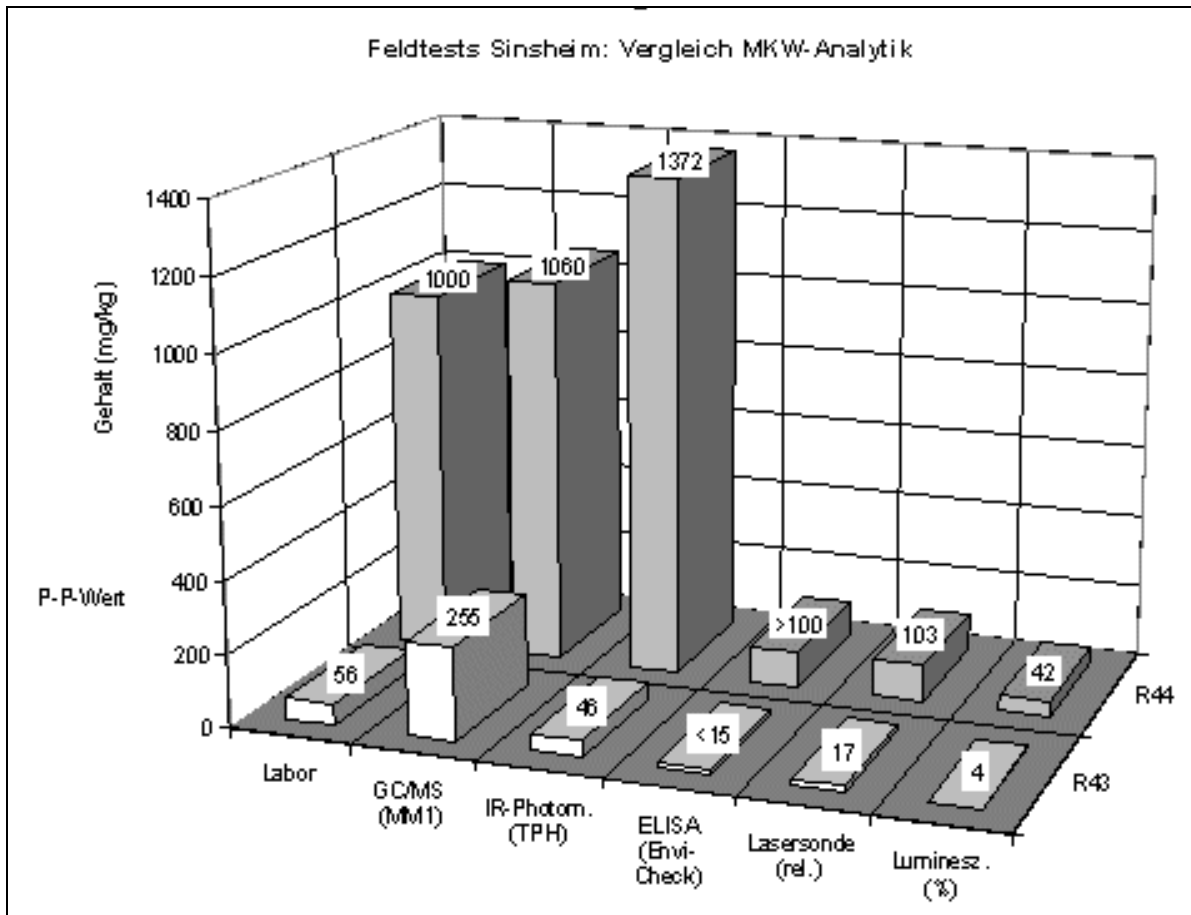


Abbildung 1: Ergebnisse der MKW-Bestimmung für die Vergleichsproben R 34, R44; Angaben in mg/kg (Lasersonde: relative Werte; Lumineszenztest: % Hemmung)

PAK-Analytik

Für die **PAK-Analytik** wurden beide GC/MS, IR-Photometer, Lasersonde, die Immunoassays aller vertretenen Anbieter sowie der Biolumineszenztest eingesetzt. Zwischen den Ergebnissen der beiden GC/MS-Geräte sind gute Übereinstimmungen (Korrelationskoeffizient 0,96) zu verzeichnen. Hier muß allerdings die Tatsache zugute gehalten werden, daß identische Probenextrakte vermessen wurden. Die Immunoassays bewegen sich bei Korrelationskoeffizienten zwischen 0,31 (Rapid Assay) und 0,74 (D TECH®) in Bezug auf GC/MS. Keine merklichen Übereinstimmungen mit den GC/MS-Werten weisen IR-Photometer, Biolumineszenztest und die Lasersonde auf.

In Abb. 2 und 3 werden die Ergebnisse zweier Vergleichsproben mit den Laborwerten dargestellt. Hier weisen alle Verfahren den richtigen Trend auf, mit Ausnahme des IR-Photometers. Die Lasersonde und der Biolumineszenztest ermöglichen keine absoluten Konzentrationsangaben.

Eine eindeutige Bewertung des PAK-Gehalts, z.B. im Hinblick auf Unter- bzw. Überschreitung des P-P-Werts von 10 mg/kg, erlauben alle Immunoassays sowie GC/MS.

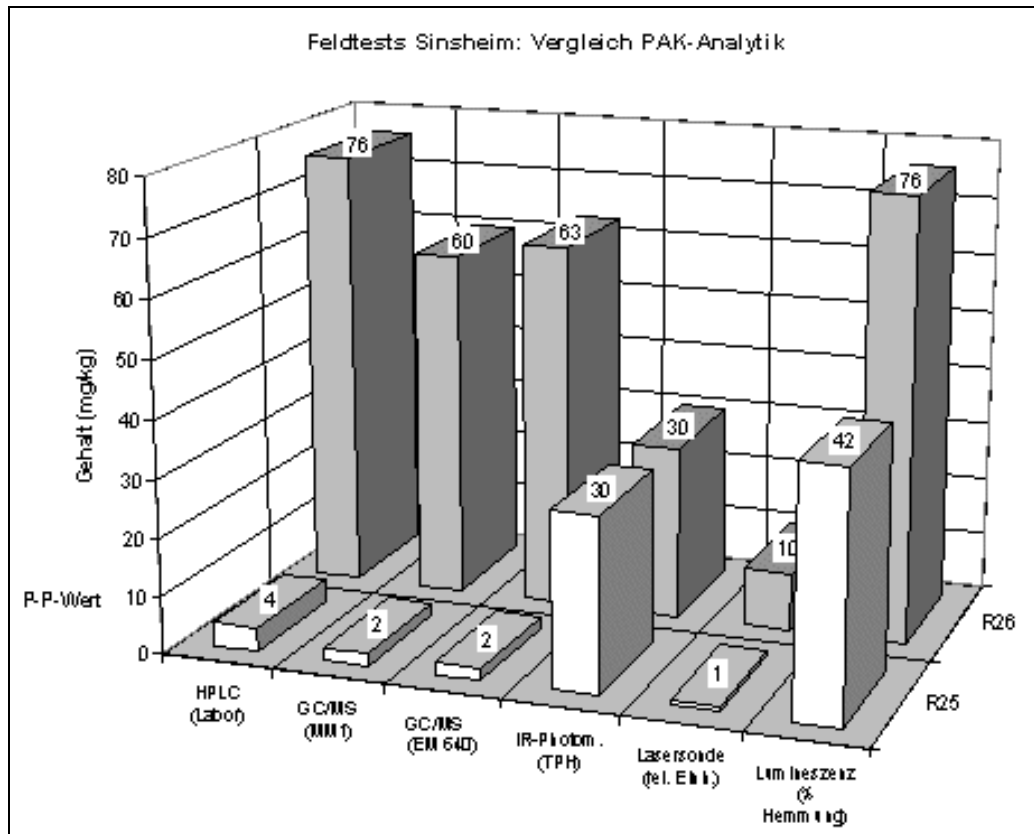


Abbildung 2: Ergebnisse der PAK-Bestimmung für die Vergleichsproben R25, R26, Angaben in mg/kg (Lasersonde: relative Werte; Lumineszenztest: % Hemmung)

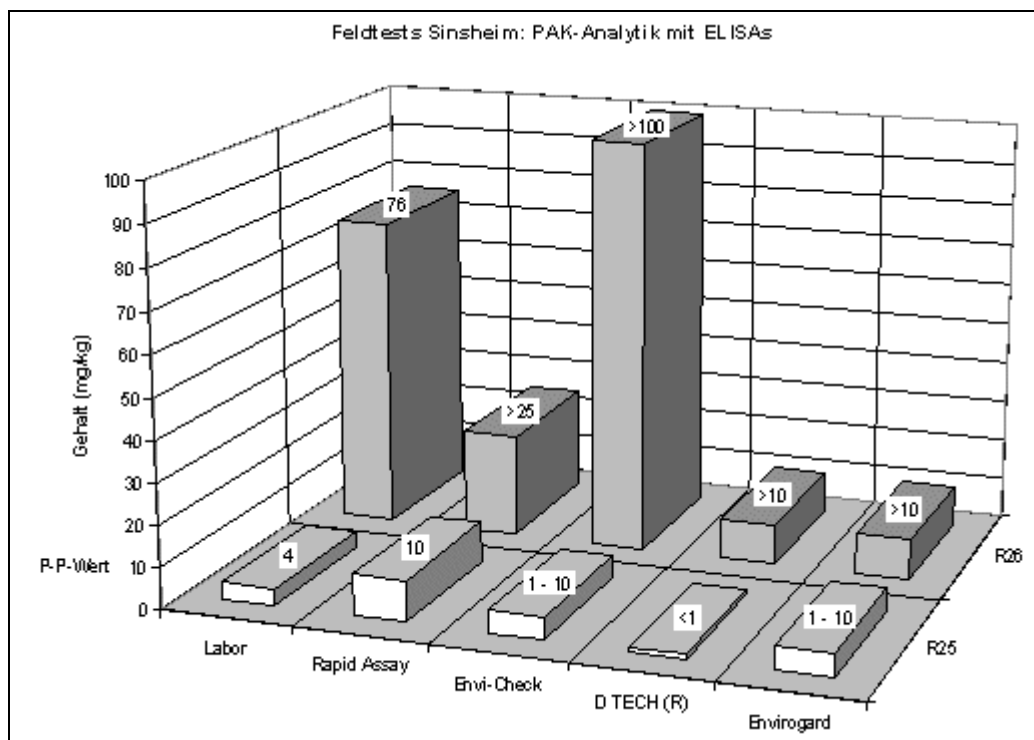


Abbildung 3: Ergebnisse der PAK-Bestimmung mit ELISAs für die Vergleichsproben R25, R26

PCP-Analytik

Für die **PCP-Analytik** wurden beide GC/MS-Geräte, drei Immunoassays (Rapid Assay, Envi-Check und Envirogard) sowie der Biolumineszenztest eingesetzt. Erwartungsgemäß findet man zwischen den beiden GC/MS-Geräten eine gute Übereinstimmung, daneben auch zum quantitativ arbeitenden Rapid Assay (Korrelationskoeffizient 0,92). Die Koeffizienten der anderen Immunoassays liegen um 0,5 in Bezug auf GC/MS. Die Ergebnisse des Leuchtbakterientests lassen sich mit den anderen Meßwerten nicht in Zusammenhang bringen. Aufgrund der geringen Probenanzahl sollten diese Aussagen allerdings nicht überbewertet werden.

Abb. 4 zeigt ein vertikales Konzentrationsprofil einer Sondierung. Daraus geht hervor, daß in diesem Fall mit allen Verfahren ein Belastungsschwerpunkt in etwa 0,2 bis 0,4 m Tiefe nachgewiesen werden kann, im Falle der halbquantitativ arbeitenden Immunoassays und des Biolumineszenztests allerdings mit größerer Unschärfe.

Für eine Bewertung hinsichtlich des P-P-Werts von PCP (0,2 mg/kg) reichen die Bestimmungsgrenzen der Verfahren mit Ausnahme des Rapid Assay nicht aus. Eine Unter- oder Überschreitung des P-M1-Werts (9 mg/kg), der in Sinsheim als Sanierungszielwert gewählt wurde, kann jedoch festgestellt werden.

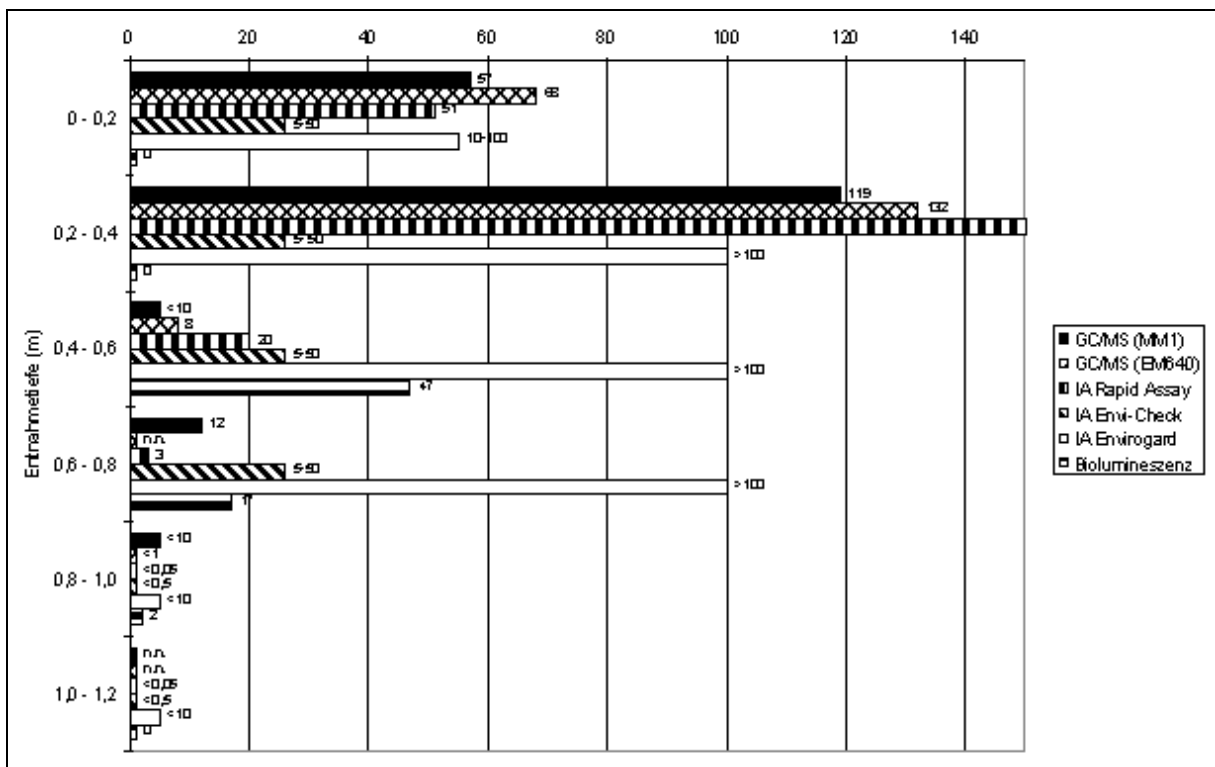


Abbildung 4: PCP-Tiefenprofil der Bohrung R29, Gehalte in mg/kg (Biolumineszenztest: % Lumineszenzhemmung)

Chrom-Analytik

Für die **Chrom-Analytik** wurden beide Röntgenfluoreszenzgeräte und der Biolumineszenztest eingesetzt. Die Ergebnisse des Leuchtbakterientests standen in keinem Zusammenhang mit den instrumentell bestimmten Chromgehalten.

In Abb. 5 sind die Meßwerte der beiden Röntgenfluoreszenzgeräte gegeneinander aufgetragen. Während die Daten in höheren Konzentrationsbereichen gut übereinstimmen, mißt das SPECTRACE 9000 unterhalb etwa 100 mg/kg nicht mehr zuverlässig. In diesem Bereich liegt die systembedingte Nachweisgrenze des Geräts für Chrom.

Für Bewertungen, die den P-P-Wert oder P-M1-Wert (beide 100 mg/kg) betreffen, ist aufgrund seiner höherer Auflösung nur das SPECTRACE 6000 geeignet.

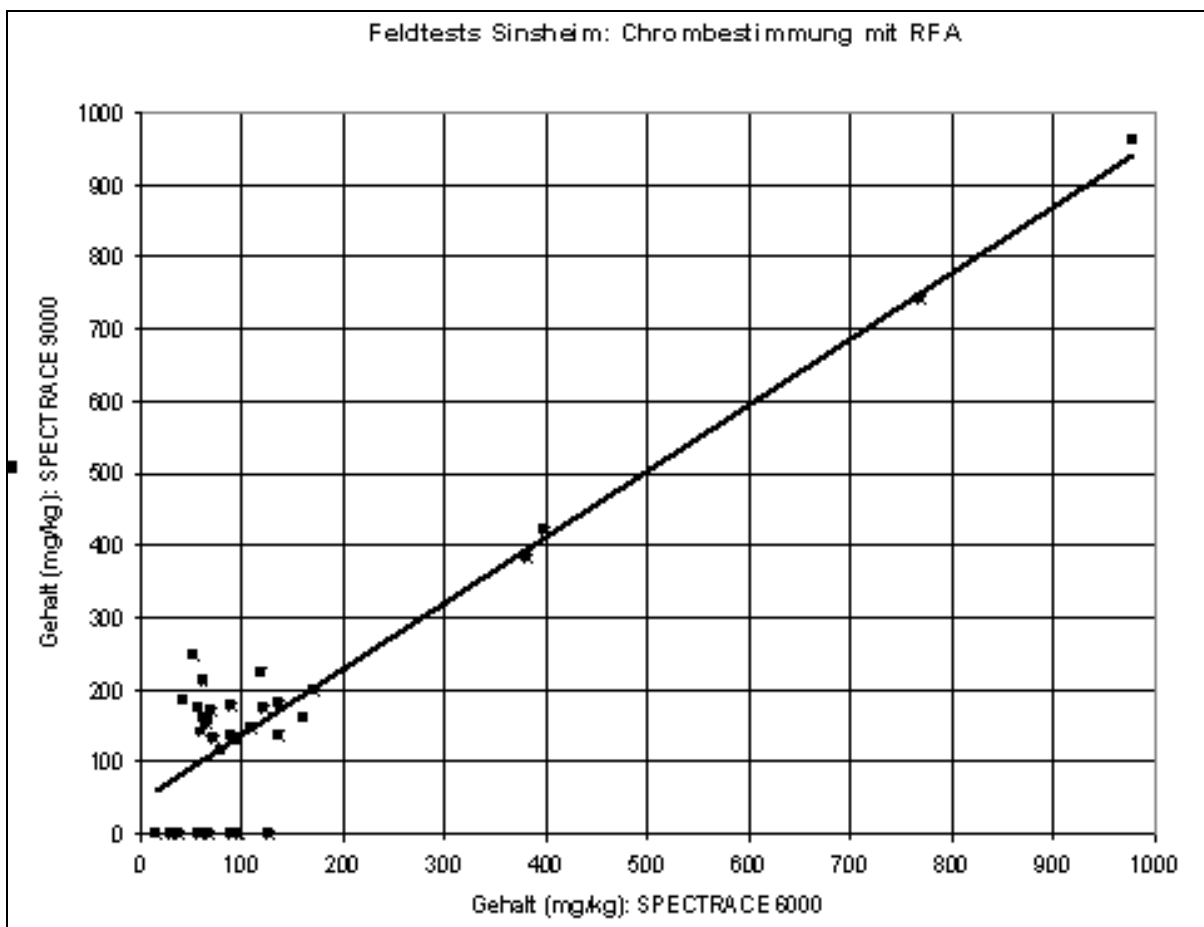


Abbildung 5: Korrelation der Chrom-Meßwerte der Röntgenfluoreszenzgeräte SPECTRACE 6000 und 9000

6.3 Bewertung der Verfahren

Gaschromatographie/Massenspektrometrie

GC/MS ist ein Verfahren, das für alle Einsätze im Bereich der Altlastenanalytik mit Ausnahme von Schwermetallkontaminationen geeignet erscheint, da organische Einzelparameter ebenso wie organische Summenparameter bestimmt werden können. Auch kann sie an Standorten eingesetzt werden, an denen noch keine Informationen zum Schadstoffspektrum vorliegen.

Das **MM1** ist robust und hat sich in der Altlastenanalytik schon bewährt. Das **EM 640** ist kompakter, preiswerter und leistungsfähiger, jedoch ist sein praktischer Einsatz durch den Mangel an Anwendererfahrungen bzw. Applikationen noch eingeschränkt. Für die Bedienung der Geräte wird geschultes Personal benötigt. Die Kosten pro Analyse liegen bei ca. 150,- DM (MM1) bzw. ca. 135,- DM (EM 640). Es wird also nahezu das Preisniveau für konventionelle Laboranalytik erreicht. Im Gegensatz zu den anderen Verfahren sind mit GC/MS auch detaillierte Aussagen möglich. Mit einem GC/MS-Lauf kann eine ganze Palette von organischen Schadstoffen auf einmal erfaßt werden.

IR-Photometrie

Die **IR-Photometrie** eignet sich als einfache Methode für die Untersuchung von Bodenproben bei Verdacht auf MKW-Belastungen. Der **TPH-Analysator** ist eine gelungene feldfähige Variante des Verfahrens, der relativ zuverlässige Werte liefert. Für die PAK-Analytik erwies sich das Gerät in Sinsheim allerdings als nicht geeignet.

Der TPH-Analysator ist leicht handhabbar, das Personal muß nur angelernt werden. Die Anschaffungskosten von 19.925,- DM liegen noch relativ niedrig. Die Kosten pro Analyse belaufen sich auf 30,- DM. Das Extraktionsmittel darf nach der FCKW-Verbotsverordnung zwar noch für analytische Zwecke produziert und eingesetzt werden, für die DIN-Methode wird jedoch langfristig ein grundsätzlicher Verfahrenswechsel erwartet.

Laserinduzierte Fluoreszenz

Die **laserinduzierte Fluoreszenz** ist ein innovatives Verfahren zur empfindlichen Bestimmung von PAK und PAK-haltigen Stoffgemischen. Die **PAK-Lasersonde** war eines der wenigen der an den Feldtests Sinsheim beteiligten Geräte, das der Vorstellung eines Sensors mit Analyse ohne Probennahme und ohne Probenaufschluß entsprach. Bei der PAK-Bestimmung in der Matrix Boden gibt es bisher noch erhebliche Probleme, da die Sonde auf den jeweiligen Bodentyp kalibriert werden muß. Das Gerät ist daher ohne weitere Anpassung noch nicht für eine aussagekräftige Bodenanalytik geeignet.

Die Bedienung des Geräte ist relativ einfach, das Ergebnis liegt nach ca. 30 Sekunden vor. Daher ist für die Bedienung kein besonders ausgebildetes Personal erforderlich, während die Auswertung der Ergebnisse bisher noch größere Probleme bereitet. Die Anschaffungskosten für das Gerät liegen bei ca. 55.000,- DM, es kann aber auch gegen ein Leihgebühr von 3.900,-

DM/Monat ausgeliehen werden. Die Kosten pro Analyse sind fast vernachlässigbar. Da kein Verbrauchsmaterial benötigt wird, bestehen sie ausschließlich aus den Personalkosten, die bei einem möglichen Probendurchsatz von 20 bis 30 Proben pro Stunde bei ca. 6,-DM pro Probe liegen.

Immunoassays

Immunoassays eignen sich für das Screening von Proben nach den Summenparametern PAK, MKW und dem Einzelstoff PCP. Damit können während der Erkundung gering belastete Proben von einer weiteren Untersuchung ausgeschlossen werden. Ebenso können bei einer Sanierung bereits vor Ort schwach kontaminierte, nicht sanierungsbedürftige Partien erkannt und ausgesondert werden.

In Sinsheim waren erstmalig alle im deutschsprachigen Raum vertretenen Firmen mit ihren Produkten im Einsatz. Alle Systeme liefern brauchbare Ergebnisse. Viele der ermittelten Werte liegen zwar im Vergleich mit den abgesicherten Ergebnissen zu hoch (falsch-positiv), die eher problematischen falsch-negativen Ergebnisse treten aber seltener auf. Die Probenvorbereitung ist insgesamt relativ aufwendig und, wie die Ergebnisse zeigen, auch fehleranfällig. Alle Tests erfordern ein gewisses Maß an Übung, um die einzelnen Schritte korrekt durchführen zu können und beim Pipettieren keine Fehler zu machen. Es ist jedoch keine spezielle Ausbildung zur Durchführung des Tests erforderlich. Um die einzelnen Schritte zu verstehen, sind Grundkenntnisse in den immunologischen Abläufen hilfreich. Die Immunreaktion ist temperaturabhängig, der Einsatz bei sehr niedrigen Außentemperaturen muß noch geprüft werden. Alle Systeme sind relativ aufwendig verpackt, so daß vor Ort mehr oder weniger große Müllmengen anfallen. Die Haltbarkeit der Testkits beträgt i.a. nur wenige Monate.

Der **Rapid Assay von Baker** für PAK und PCP ist relativ leicht zu handhaben. Allerdings können sich bei den Pipettierschritten Fehler einschleichen, zumal der Test darauf ausgelegt ist, größere Testreihen (bis zu 60 Proben) auf einmal zu bearbeiten. In einer Stunde können 10 bis 15 Proben bearbeitet werden. Um den Rapid Assay einsetzen zu können, muß das einfach zu bedienende Photometer und das Magnetrack gekauft werden. Die Anschaffungskosten liegen bei ca. DM 5.000,-. Der Baker-Immunoassay ist der einzige der in Sinsheim getesteten Immunoassay-Systeme, der in größeren Verpackungseinheiten auf dem Markt ist. Dies macht sich bei dem Preisen bemerkbar, eine Rapid Assay-Analyse ist für 40,- DM durchzuführen. Die Empfindlichkeit des Tests geht bis in den ppb-Bereich.

Der **Envi-Check von Dräger** ist von der Handhabung her relativ aufwendig. Es gibt viele Pipettierschritte, bei denen sich leicht Fehler einschleichen können. Die Durchführung eines Tests erfordert ungefähr 30 Minuten, bei ineinander verschachtelten Abläufen können bis zu sechs Proben pro Stunde bearbeitet werden. Die Anschaffungskosten für die Erstausrüstung des Dräger-Immunoassays liegen bei DM 2.800,-. Dagegen sind die Kosten für die Einzelanalyse mit Preisen von ca. 70 - 120,- DM (abhängig vom Parameter und von der Bestellmenge) relativ hoch.

Der **D TECH® von Merck** unterscheidet sich von den anderen Immunoassays insofern, als die meisten Reaktionsschritte auf einem Filter ablaufen, wodurch auch weniger Müll anfällt. Die Haltbarkeit beträgt bei Kühlung bis 12 Monate. Der Test ist einfach zu handhaben. Es gibt im Vergleich zu den übrigen getesteten Immunoassays relativ wenig Pipettierschritte,

wodurch sich auch die möglichen Fehlerquellen reduzieren. Wie sich bei den Feldtests in Sinsheim zeigte, sind sechs Proben pro Stunde gut zu bearbeiten. Für die halbquantitative Auswertung des D TECH® sind keine zusätzlichen Anschaffungen erforderlich, hier sind im Testkit alle notwendigen Bestandteile erhalten. Für die quantitative Auswertung ist ein spezielles Reflektometer erforderlich, das direkt auf dem Filter messen kann und ca. 600,- DM kostet. Die Analyse einer Probe auf PAK mit dem Testkit kostet ca. 50,- DM.

Der **Envirogard von Millipore** enthält relativ viele Pipettierschritte, doch wird zum Beispiel die Filtrierung mit einem neuentwickelten System durchgeführt, das den Schritt verkürzt und leicht zu handhaben ist. Am Standort Sinsheim zeigte es sich, daß mit etwas Übung sechs bis neun Proben pro Stunde mit dem Envirogard-System bearbeitet werden können. Zur Durchführung des Tests muß die Grundausstattung für DM 2.444,- erworben werden. Dadurch liegt der Preis je nach Parameter inklusive Personalkosten bei durchschnittlich ca. 50,- DM pro Analyse.

Biolumineszenz-Test

Der Leuchtbakterientest ist bei unbekannter Schadstoffzusammensetzung prinzipiell zum Screening auf Toxizität als eigenständigen Parameter geeignet. Er liefert relative Aussagen über die aktuelle bioverfügbare toxische Belastung des Bodens. Beim Vergleich mit den übrigen Verfahren war daher zwischen der absoluten Konzentration eines bestimmten Schadstoffes und der Lumineszenzhemmung kein Zusammenhang festzustellen. Eine Eignung für den erkundungs- oder sanierungsbegleitenden Einsatz konnte in Sinsheim nicht nachgewiesen werden, ist jedoch durch anderweitige Publikationen belegt.

Der LUMISmini ist leicht zu handhaben, die Bedienung ist selbsterklärend. Am aufwendigsten ist die Probenvorbereitung, wo sich durch verschiedene Pipettierschritte leicht Fehler einschleichen können. Wenn man die Arbeitsschritte ineinander verschachtelt, können 5-7 Proben pro Stunde bearbeitet werden. Die Anschaffungskosten für das erforderliche Gerät liegen bei DM 5.400,-. Die Verbrauchskosten sind praktisch vernachlässigbar. Insgesamt kostet die Durchführung eines Tests ungefähr 15,- DM.

Röntgenfluoreszenz (RFA)

Die Röntgenfluoreszenzanalyse ist besonders im Rahmen von Erkundungsmaßnahmen für das Screening von Proben auf anorganische Schadstoffe unbekannter Zusammensetzung geeignet, denn es können eine Vielzahl von Elementen auf einmal erfaßt werden. Die im Vergleich zur Laboranalytik größeren Streubreiten, die durch Matrixeffekte verursacht werden, sind dabei i.a. unproblematisch und können durch Mehrfachbestimmungen verringert werden. Beim Einsatz in der Sanierungsbegleitung sind die Nachweisgrenzen der Geräte zu berücksichtigen, da eventuell Sanierungszielwerte nicht mehr analysiert werden können. Die Probenaufbereitung für die quantitativen Messungen ist der aufwendigste Schritt. Mit dem **SPECTRACE 6000** können ungefähr vier Proben pro Stunde bearbeitet werden. Für die Aufbereitung der Proben und die Durchführung der Analyse ist speziell geschultes Personal erforderlich. Die Anschaffungskosten für das Gerät liegen bei 165.000,- DM, die Kosten pro Analyse liegen unter 60,- DM. Das **SPECTRACE 9000** ist als tragbares, einfach zu bedienendes Gerät für die Erkundung von Oberflächen ohne Probennahme konzipiert, kann also als Sensor betrachtet werden.

Es können fünf bis zehn Proben in Stunde quantitativ bis semiquantitativ (in Abhängigkeit von der Probenhomogenität) gemessen werden. Sollen die Proben vor der Analyse homogenisiert werden, reduziert sich der Durchsatz auf ungefähr vier bis fünf Proben/Stunde und die Anforderungen an das Personal entsprechen dann ebenfalls denen des SPECTRACE 6000. Da als Strahlungsquelle radioaktive Isotope eingebaut sind, ist der Betrieb genehmigungspflichtig und nur mit entsprechend ausgebildetem Personal erlaubt. Die Anschaffungskosten für das Gerät liegen bei 100.000,- DM, die Kosten pro Analyse liegen mit Personalkosten unter 40,- DM (bei Analyse ohne Probenaufschluß).

6.4 Einsatzmöglichkeiten

Konkrete **Einsatzmöglichkeiten** für Vor-Ort-Analytik in der Altlastenbearbeitung bestehen vor allem in folgenden Bereichen:

- als Screeninginstrument bei der orientierenden Erkundung (E₁₋₂) von altlastverdächtigen Flächen
- bei der näheren und eingehenden Erkundung (E₂₋₃ bzw. E₃₋₄) zum Ausschluß unbelasteter Gebiete, zur Meßpunktverdichtung, zur Vorauswahl für wenige, gut platzierte Laborproben
- bei der Steuerung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen können z.B. durch Aussonderung schwach belasteter Bodenchargen Entsorgungskosten eingespart werden (Steuerung von Stoffströmen)
- bei der Langzeitüberwachung von gesicherten oder sanierten Standorten

Weitere z.T. bereits bewährte Einsatzgebiete für mobile Meßtechnik sind Deponieeingangskontrollen, Störfallbearbeitung und Arbeitsschutz.

In Tabelle 5 werden den getesteten Verfahren geeignete Einsatzbereiche zugeordnet. Die Tabelle soll möglichen Anwendern von Vor-Ort-Analytik dazu dienen, für ihre Fragestellung die geeignete Methode und das geeignete Gerät auszuwählen. Welches Gerät nun an einem speziellen Standort und für eine spezielle Fragestellung eingesetzt wird, muß letztendlich im Einzelfall entschieden werden. Dabei kann auch eine Kombination unterschiedlicher Verfahren sinnvoll sein, was bei den Planungen berücksichtigt werden sollte. Zusammen mit den Informationen der Tabelle 4 sollte dem Anwender ausreichend Hilfe bei der Methodenauswahl zur Verfügung stehen.

Tabelle 5: Einsatzmöglichkeiten der Vor-Ort-Verfahren in der Altlastenbearbeitung

Verfahren	Parameter	Einsatzmöglichkeiten der Verfahren für Bodenanalytik im Altlastenbereich				
		Screening Voruntersuchung zur Aufstellung eines Erkundungsprogramms Laboranalytik			Erkundung begleitend zur Labora- nalytik	Analysenge- steuerte Sanierung
		unbekannte Schadstoffe	Summenpa- rameter (z.B. nach Hinweisen aus histori- scher Er- kundung)	Einzelpara- meter (z.B. nach Hinweisen aus histori- scher Er- kundung)	Einzel- bzw. Summenpa- rameter	Einzel- bzw. Summenpa- rameter
GC/MS	MKW, PAK, PCP, org. Parameter	++	++	++	++	++
IR- Photometrie	MKW	(+)	++	-	+	+
	PAK	_*	_*	_*	_*	_*
Lasersonde	PAK	+*	+*	-	+*	+*
	MKW	(+)	(+)	-	(+)	(+)
Immunoas- say	MKW	-	++	-	+	+
	PAK	-	++	-	+	+
	PCP	-	-	++	+	+++
Lumines- zenztest	Toxizität	+*	(+)*	(+)*	(+)*	(+)*
Röntgenflu- oreszenz	Schwerme- talle	++	-	++	++	+++

++: sehr gut geeignet; +: gut geeignet; (+) bedingt geeignet; - nicht geeignet; * Eignung konnte nicht nachgewiesen werden; ** abhängig von Bestimmungsgrenze

7. Literaturverzeichnis

- Arge-Ing. Röver & Partner/TAUW Infra Consult, „Studie über die Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik“, Oktober 1992, unveröffentlicht.
- Arge-Ing. Röver & Partner/TAUW Umwelt und Technologie GmbH, „Bericht zur Phase 2a, Studie zur Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik“, März 1993, unveröffentlicht.
- Arge-Ing. Röver & Partner/TAUW Umwelt und Technologie GmbH, „Endbericht zur Phase 2b, Studie zur Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik“, November 1993/April 1994, unveröffentlicht.
- Arge-Ing. Röver & Partner/TAUW Umwelt und Technologie GmbH, „Studie zur Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik für den Standort Sondermülldeponie Malsch, Grund- und Sickerwassermonitoring“, April 1994, unveröffentlicht.
- Arge-Ing. Röver & Partner/TAUW Umwelt und Technologie GmbH, „Auswertung Workshop Vor-Ort-Analytik“, Mai 1994, unveröffentlicht.
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, „Endbericht zum Projekt Studie über die Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik, Teilprojekt 2: Leichtflüchtige organische Schadstoffe und Gase“, April 1994, unveröffentlicht.
- Gesellschaft für Biotechnologische Forschung Braunschweig, „Endbericht zum Projekt: Studie über die Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik, Teilprojekt 5: Mit biologischen Verfahren nachweisbare Schadstoffe“, Oktober/November 1993, unveröffentlicht.
- Ingenieurbüro Röver & Partner, „Studie zur Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik, Phase 3, Feldtests am Modellvorhaben Sinsheim“, Oktober 1994, unveröffentlicht.
- Technische Universität Hamburg-Harburg, Mobilab Umweltanalytik GmbH, „Endbericht zum Projekt: Studie über die Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik, Teilprojekt 3: Gaschromatographische Bestimmung und Ionenmobilitätsspektroskopie von organischen Schadstoffen“, Oktober 1993 unveröffentlicht.
- Technische Universität München, Lehrstuhl für Hydrogeologie, Hydrochemie und Umweltanalytik, „Endbericht zum Projekt: Studie über die Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik, Teilprojekt 4: Sensoren zur Bestimmung organischer Schadstoffe“, Oktober 1993, unveröffentlicht.
- TGU, „Modellvorhaben ehemalige Firma Reinig, Endbericht zur Erkundungsstufe E₂₋₃, Dezember 1992, unveröffentlicht.
- Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, „Endbericht zum Projekt: Studie über Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik mit Sensortechnik, Teilprojekt 1: „Metalle und Cyanide“, Oktober 1993, unveröffentlicht.

Anhang

Anhang 1: Übersicht Standort Sinsheim

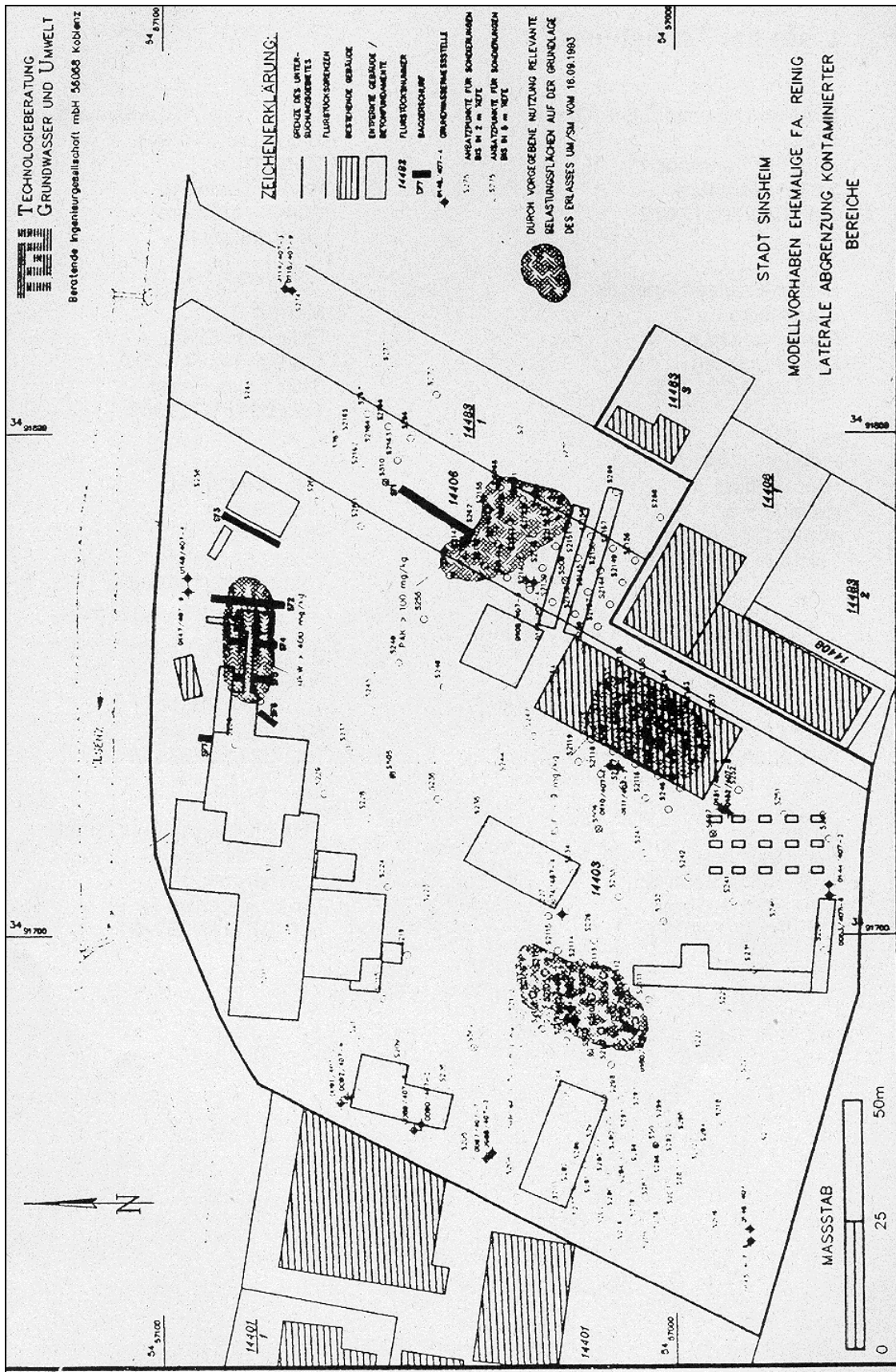


Abbildung 6: Stadt Sinsheim, Modellvorhaben ehemalige FA. Reinigung, Laterale Abgrenzung Kontaminierter Bereiche

Anhang 2: Liste der Teilnehmer

1. Mobilab Umweltanalytik GmbH, Herr Kübler, Zum Fürstenmoor 11, 21079 Hamburg, Tel.: 040/79012420
2. Bruker-Franzen Analytik, Frau Nölke, Fahrenheitstr.4, 28359 Bremen, Tel.: 0421/205235
3. Firma Wolters, Herr Wolters, Helmutstr.3, 40472 Düsseldorf, Tel.: 0211/653098
4. LLA Umwelttechnische Analytik und Anlagen GmbH, Herr Weißbach, Rudower Chaussee 6, Geb.19.1/2, 12484 Berlin, Tel.: 030/63924760 oder -68
5. Baker, Herr Dr.Seifert, H.-S.-Richardson-Str., 64521 Groß-Gerau, Tel: 06152/710556
6. Drägerwerk AG, Abteilung, Sicherheitstechnik, Herr Bauer, Südwestpark 48, 90449 Nürnberg, 0911/6800414
7. Merck, Fr.Dr.Gail-Eller, Frankfurter Str. 250, 64271 Darmstadt, Tel.: 06151/726969
8. Millipore GmbH, Frau Klamp, Hauptstr.87, 65760 Eschborn, Tel.: 06196/494132
9. Dr. Lange, Frau Lisiecki, Willstätter Str.11, 40549 Düsseldorf, Tel.: 0211/5288144
- 10.NORAN Instruments GmbH, Herr Gallinger, Lusshardtstr.6, 76646 Bruchsal, Tel.: 07251/9791-0

Anhang 3: Liste der Geräteanbieter

1. Airmotec GmbH, Gillesweg 21, 45257 Essen, Tel.: 0201/480570
2. Ansyco GmbH, Ostring 4, 76131 Karlsruhe, Tel.: 0721/617021
3. Baker, H.S.-Richardson-Str., 64521 Groß-Gerau, Tel.: 06152/710556
4. Brüel & Kjaer GmbH, Hohenbergstr. 21/2, 72218 Wildberg, Tel.:07054/8921
5. Bruker-Franzen Analytik GmbH, Fahrenheitstr. 4, 28359 Bremen, Tel.:0421/22050
6. CEM GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Str. 9, 47475 Kamp-Lintford, Tel.:02842/719021
7. Dr. Lange, Willstätter Str.11, 40549 Düsseldorf, Tel.: 0211/5288144
8. Drägerwerk AG, Abteilung Sicherheitstechnik, Südwestpark 48, 90449 Nürnberg, Tel.:0911/6800414
9. Wolters, Helmutstr. 3, 40472 Düsseldorf, Tel.: 0211/653098,
- 10.GAT, Gamma Analysentechnik GmbH, Postfach 210230, 27523 Bremerhaven, Tel.:0471/890990
- 11.HNU Systems GmbH, Otto-Hahn-Str. 5, 82216 Maisach,
- 12.Horiba Europe GmbH, Winkelsfeld 178-180, 40764 Langenfeld, Tel.:02173/72015
- 13.LAR GmbH, Tempelhofer Ufer 23/24, 10963 Berlin, Tel.: 030/2164047
- 14.LLA Umwelttechnische Analytik und Anlagen GmbH, Rudower Chaussee 6, Geb.19.1/2, 12484 Berlin, Tel.: 030/63924760 oder -68
- 15.Merck, Frankfurter Str. 250, 64271 Darmstadt, Tel.: 06151/726969,
- 16.Microbics/Heyl, Vertrieb: Colora Meßtechnik GmbH, Postfach 1240, 73547 Lorch, Tel.:07172/1830
- 17.Millipore GmbH, Hauptstr. 87, 65760 Eschbom, Tel.: 06196/494132
- 18.MTI Microsensor Technology GmbH, Am Ohlenberg 8, 64390 Erzhausen, Tel.:06150/96910
- 19.NORAN Instruments GmbH, Lusshardtstr. 6, 76646 Bruchsal, Tel.: 07251/9791-0
- 20.Outokumpu Analytik GmbH, Königssteiner Str. 98, 65197 Wiesbaden, Tel.:06196/63017
- 21.Polytec GmbH, Siemensstr.13-15, 76337 Waldbronn, Tel.: 07243/6040
- 22.Skalar Analytik GmbH, Kölner Straße. 59, 41812 Erkelenz, Tel:02431/2091
- 23.SRI, Vertrieb:, Schambeck SFD GmbH, Rhöndorferstr. 51, 53604 Bad Honnef, Tel.:0222/492390
- 24.Viking, Vertrieb: Axel Semrau, Stefansbeck 42, 45549 Sprockhövel, Tel.:02339/6037

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnisse der MKW-Bestimmung für die Vergleichsproben R 34, R44; Angaben in mg/kg (Lasersonde: relative Werte; Lumineszenztest: % Hemmung)	19
Abbildung 2: Ergebnisse der PAK-Bestimmung für die Vergleichsproben R25, R26, Angaben in mg/kg (Lasersonde: relative Werte; Lumineszenztest: % Hemmung).....	20
Abbildung 3: Ergebnisse der PAK-Bestimmung mit ELISAs für die Vergleichsproben R25, R26	20
Abbildung 4: PCP-Tiefenprofil der Bohrung R29, Gehalte in mg/kg (Biolumineszenztest: % Lumineszenzhemmung)	21
Abbildung 5: Korrelation der Chrom-Meßwerte der Röntgenfluoreszenzgeräte SPECTRACE 6000 und 9000	22
Abbildung 6: Stadt Sinsheim, Modellvorhaben ehemalige FA. Reinigung, Laterale Abgrenzung Kontaminierter Bereiche.....	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl felddauglich eingeschätzter Analysengeräte nach Literaturrecherche und Markterhebung (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)	5
Tabelle 2: Teilnehmer der Feldtests in Sinsheim	6
Tabelle 3: Meßprinzipien und Geräteübersicht	9
Tabelle 4: Zusammenfassende Bewertung der in Sinsheim erprobten Geräte	15
Tabelle 5: Einsatzmöglichkeiten der Vor-Ort-Verfahren in der Altlastenbearbeitung.....	27

Indexverzeichnis

A

Analysenverfahren	
Analysengeräte.....	4
Bewertung der Analysenergebnisse	18
Biolumineszenz-Test	13, 25
Chrom-Analytik.....	22
ehemaliges Sägewerk.....	7
Eignung, Anwendungsbereich	16
Einsatzmöglichkeiten.....	26
erprobte Geräte	14
Feldfähigkeit	16
Feldtests	4, 6
Gaschromatographie mit	
Massenspektrometrie (GC/MS) ..	9, 23
Geräte.....	9, 32
Handhabung	16
Immunoassays.....	12, 24
IR-Photometrie	10, 23
Kosten.....	17
laserinduzierte Fluoreszenz	11, 23
Literatur	28
Literaturrecherche und Markterhebung	4
Meßprinzipien.....	9
MKW-Analytik.....	18
Modellvorhaben Sinsheim.....	7
PAK-Analytik.....	19
PCP-Analytik.....	21
Röntgenfluoreszenz (RFA).....	14, 25

B

Biolumineszenz-Test	13, 25
---------------------------	--------

C

Chrom-Analytik	
Analysenverfahren	22
Vor-Ort-Analytik	22

F

Feldtests	2, 29
-----------------	-------

G

Gaschromatographie mit	
Massenspektrometrie (GC/MS)	
Allgemeines	9, 23

I

Immunoassay	12, 24
IR-Photometrie	10, 23

L

laserinduzierte Fluoreszenz	11, 23
Literatur	

Analysenverfahren	28
Vor-Ort-Analytik.....	4, 28

M

MKW-Analytik	
Analysenverfahren	18
Vor-Ort-Analytik.....	18
Modellvorhaben ehemalige Firma Reinig	
in Sinsheim	
Lage und Historie.....	7

P

Pentachlorphenol (PCP)	
Analytik.....	21
Vor-Ort-Analytik.....	21
polycyclische aromatische	
Kohlenwasserstoffe (PAK)	
Analysemethode.....	19
Vor-Ort-Analytik.....	19

R

Röntgenfluoreszenz (RFA)	14, 25
--------------------------------	--------

V

Vor-Ort-Analytik	
Allgemeines	2
Analysengeräte	4
Bewertung der Analysenergebnisse	18
Biolumineszenz-Test.....	13, 25
Chrom-Analytik	22
ehemaliges Sägewerk.....	7
Eignung, Anwendungsbereich	16
Einsatzmöglichkeiten.....	26
erprobte Geräte.....	14
Feldfähigkeit	16
Feldtests	4, 6
Gaschromatographie mit	
Massenspektrometrie (GC/MS) ..	9, 23
Geräteanbieter	32
Geräteverzeichnis.....	9
Handhabung	16
Immunoassays	12, 24
IR-Photometrie.....	10, 23
Kosten	17
laserinduzierte Fluoreszenz.....	11, 23
Literatur.....	28
Literaturrecherche und Markterhebung.	4
Meßprinzipien	9
MKW-Analytik	18
Modellvorhaben Sinsheim	7

PAK-Analytik	19
PCP-Analytik	21
Röntgenfluoreszenz (RFA)	14, 25