



UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 21/1998

12. Osnabrücker Umweltgespräch

Schnelle Vor-Ort-Analytik

Helko Borsdorf und Johannes Flachowsky (Hrsg.)

Vorträge der Veranstaltung
am 9. Juli 1998 in Osnabrück

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Analytik, Abteilung Mobile Analytik

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

ISSN 0948-9452

12. Osnabrücker Umweltgespräch

Schnelle Vor-Ort-Analytik

Vorträge der Veranstaltung
am 9. Juli 1998 in Osnabrück

Helko Borsdorf und Johannes Flachowsky (Hrsg.)



Deutsche Bundesstiftung Umwelt
An der Bornau 2, 49090 Osnabrück

in Zusammenarbeit mit



UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Analytik, Abteilung Mobile Analytik
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

12. Osnabrücker Umweltgespräch „Schnelle Vor-Ort-Analytik“



Leipzig

November 1998

Inhalt

Thesen zu den Umweltgesprächen.....	4
J. P. Lay	
<i>Einleitung</i>	5
U. Kallert	
<i>Behördliche Akzeptanz und Anforderungen an die Vor-Ort-Analytik</i>	9
J. Kübler	
<i>Akzeptanz von Feldmethoden durch Ingenieurbüros und Auftraggeber</i>	12
A. Maurer	
<i>Möglichkeiten schneller Bodenaufbereitungen unter Feldbedingungen (Beispiel S4-Eluat)</i>	17
J. Flachowsky	
<i>Visualisierte Multiparameterdünnschichtchromatographie als Feldmethode</i>	26
P. Krämer	
<i>Immunologische Test-Kits als Field Screening Methode</i>	33
P. Wagner	
<i>Schnell-Detektion von Mineralölkohlenwasserstoffen in Böden und Gewässern</i>	39
S. Morley	
<i>Das Infrarot Fernerkundungssystem RAPID</i>	46
J. Schiewe	
<i>Mikrosysteme und -komponenten für die Feldanalytik</i>	51
Zusammenfassung und Ergebnisse der Diskussion.....	56
Teilnehmerverzeichnis.....	65
Referentenverzeichnis.....	67

Thesen zu den 12. Osnabrücker Umweltgesprächen zum Thema „Schnelle Vor-Ort-Analytik“

Informations- und Interpretationsprobleme von Analysendaten im Altlasten-, Sanierungs- und Umweltvorsorgebereich, Kostendruck und Fragen der Richtigkeit des Handelns in der weitgehend nicht genormten präanalytischen Phase sind Anlass, nach neuen Ansätzen und Wegen zur stofflichen Beschreibung im Altlasten-, Abfallwirtschafts- und Vorsorgebereich zu suchen.

Wegen der Heterogenität von Matrix und Kontamination im Bodenbereich und der lateralen und tiefenorientierten Zufallsverteilung von Kontaminationen in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone bieten sich analytische Prozeduren an, die am Untersuchungsort durchgeführt werden und bei eingeschränkter Präzision des Einzelergebnisses oder eingeschränkten Möglichkeiten der Einzelstoffbestimmung schnell sequentiell oder in großer Zahl parallel analytische Daten erzeugen.

Diese Vorgehensweise soll schnelle Vor-Ort-Analytik genannt werden.

Das Osnabrücker Umweltgespräch dient dazu, die Machbarkeit solcher Vorgehensweisen zu prüfen und über Akzeptanzprobleme sowie Entwicklungs- und Förderbedarf zu diskutieren.

Dabei geht es vordergründig nicht um Forschungen zur analytischen Methodik und der vollständigen Beschreibung aller analytischen Varianten oder um Präsentationen von Förderprojektideen, sondern um Fragen zur Notwendigkeit und der Möglichkeit der Bereitstellung kostengünstiger Problemlösungen aus bekannten Analysenverfahren und Analysenproblemen als verkaufsfähiges und anwendungsbereites Produkt auch für den analytisch wenig qualifizierten Techniker.

Aus diesem Grund sollen Vertreter analytischer Forschungseinrichtungen, von Behörden, Geräteherstellern und Anwendern in die Diskussion eingreifen.

Einleitung

Dr. J. P. Lay

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Referat Umweltchemie

Unter dem Arbeitstitel „Schnelle Feldanalytik“ lud die Deutsche Bundesstiftung Umwelt am 09. Juli 1998 zu einem Gedanken- und Meinungsaustausch in die Geschäftsstelle nach Osnabrück ein. Die als 12. Osnabrücker Umweltgespräche bezeichnete Veranstaltung wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Sektion Analytik, vorbereitet, durchgeführt und in Form der hier vorgelegten Schrift nachbearbeitet.

Generelle Zielstellung war und ist, die schnelle Feldanalytik über ihren derzeitigen Entwicklungsstand hinaus zu forcieren und nach geeigneten fachlichen Förderansätzen Ausschau zu halten. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt fördert bereits seit einigen Jahren Einzelvorhaben zu der o. g. Thematik. Zur Nutzung von Synergieeffekten bietet sich jedoch sinnvollerweise eine Bündelung von Förderaktivitäten an. Um aus dem Stadium der Einzelgespräche und der Einzelprojektförderung herauszukommen, wurde die Idee zur Veranstaltung des Workshops „Schnelle Vor-Ort-Analytik“ geboren. Sie erhalten heute die zusammenfassenden Referate und die sich daraus ergebenden Schlüsse bzw. Bewertungen.

Die nachfolgende kleine Übersicht soll allen Neulingen auf diesem Gebiet den Einstieg in diese Thematik erleichtern. Einige Verfahren sind schon recht alt, wie die seit über 100 Jahren praktizierte Indikation von Luftverunreinigungen durch Auswertung des Zustandes an Flechtengemeinschaften. Hierdurch kann man Hinweise auf phytotoxische Wirkungen von Immissionen ableiten. Die Flechtenkartierung ist daher ein im Prinzip erprobtes und getestetes Verfahren. Sie entspricht jedoch nicht den Anforderungen an eine schnelle Vor-Ort-Analytik. Dagegen sind die sogenannten Immunoassay-Tests als Feldscreening-Methoden eher geeignet, schnelle Informationen über den Grad einer Kontamination zu erhalten. Besonders die Tests für PAK's und PCB's sind von der US-EPA validiert und

auch in Deutschland als Hausmethoden zugelassen. Insgesamt gibt es eine große Zahl von Validierungspublikationen. Immunochemische Methoden sind besonders in der Wasseranalytik weit verbreitet. Während Flechtenkartierungen für gasförmige, nasse und trockene Depositionen, die immunochemischen Tests vorwiegend für den aquatischen Bereich anwendungsreif entwickelt wurden, handelt es sich bei der schnellen Vor-Ort-Analytik von Feststoffproben um ein noch weitgehend ungelöstes Kernproblem. Hier kommt es vor allen Dingen auf die richtige Probenaufbereitung und die Repräsentanz der Proben an. Was auch nach Auswertungen der vorhandenen Literatur als Defizit angesehen werden muss, sind die noch sehr unzureichenden Vergleiche unter echten Feldbedingungen, wobei die wechselseitigen Einflüsse von Bodentyp, Bodenstruktur, Huminstoff- und zu Skelettanteil, der Bodenfeuchte, der Kreuzreaktionen mit anderen Kontaminanten, der Art der Bodenaufbereitung, dem notwendigen Zeitbedarf und den entstehenden Kosten viel zu wenig bzw. noch gar nicht berücksichtigt wurden. Im Bereich der Altlastenerkundung und der abfallwirtschaftlichen Eingangskontrolle (Identitätskontrolle) sowie der Sicherungs- und Sanierungsüberwachung mit feldanalytischen Methoden, sind schnelle Probenaufbereitungsverfahren auch im Kilogramm-Maßstab notwendig. Ohne eine schnelle Probenpräparation gibt es keine schnellen analytischen Vor-Ort-Verfahren. Die hierbei notwendigen Prozeduren umfassen fünf Teilschritte:

1. Homogenisierung und Probenteilung;
2. Direktmessung am Feststoff;
3. thermische Extraktion (dynamische headspace);
4. schnelle Lösemittlextraktion;
5. Schnellelution (wässrige Auszüge).

Häufig bietet sich eine Kombination verschiedener analytischer Verfahren wie die Direktmessung mittels Röntgenfluoreszenz und die UV-Fluoreszenz/Nah-Infrarot-Absorption an. Die energiedispersive Röntgenfluoreszenz ist häufig die Methode der Wahl für die Elementanalytik in Feststoffen. Diese Methode kann durch Erweiterung des gleichen Gerätes ebenfalls zur Spurenelementanalytik im Wasser oder Eluat genutzt werden. Hierdurch können beispielsweise Schwermetallspuren

im Grund- und Sickerwasser sowie in Eluaten nachgewiesen werden. Fast immer verlangen analytische Bestimmungen wässrige Auszüge von Bodenproben bzw. die Herstellung von Extrakten mit organischen Lösemitteln. Nur in Ausnahmefällen kann eine lösemittelfreie Extraktion eingesetzt werden, z. B. bei vorhandenen flüchtigen bzw. halbflüchtigen Organika, die durch thermische Behandlung „extrahiert“ werden. Alle Probenaufbereitungsverfahren müssen simpel, schnell und kostengünstig sein und mit der genormten (S4-Auszug) Probenaufbereitung vergleichbare Analyseergebnisse erzielen. Hier ist im besonderen methodischer und gerätetechnischer Entwicklungsbedarf vorhanden. Es gibt bereits erste orientierende Vorversuche mit neuen Schnellelutionsmethoden im Vergleich zur S4-Eluatherstellung und der herkömmlichen Laboranalytik. Die Abweichungen der Analyseergebnisse schwanken in der Größenordnung zwischen 10 bis 50 %. Systematisierende Untersuchungen mit gängigen Summenparametern in verschieden hergestellten Eluaten, z. B. die Bestimmung von Anionen, Kationen, der Leitfähigkeit, der UV-Absorption mit Teststäbchen, mit Hilfe der Reaktionsküvetten-Photometrie, mit ionenselektiven Elektroden, mit Immunoassays etc., sind dringend erforderlich. Zur Herstellung repräsentativer Proben ist die Herstellung von Mischproben besonders bei heterogenen Bodenmatrices bzw. anderer heterogener Probenmatrixzusammensetzung im Bereich von mehr als 50 kg notwendig.

Viele Themen, die sich aus den aufgerissenen Punkten ergeben, lassen sich stichwortartig wie folgt zusammenfassen:

- Bodenmatrixklassifizierung,
- Entwicklung feldfähiger Bodenextraktoren,
- Kombination aus Mischer und Eluator,
- Kombination aus Thermoextraktion und Sensorik,
- Vergleich feldfähiger Analysentechnik und Methodvalidierung,
- Dateninterpretation,
- Gewährleistung.

Einige dieser o. g. Themen werden in den nachstehend abgedruckten Kurzreferaten behandelt. Es ist verständlich, dass die Gespräche eines Tages nicht alle Probleme ansprechen und lösen können. Es gilt auch in verstärktem Maße, die bereits vorhandene Literatur und das darin beschriebene Know-how auszuwerten und zu nutzen.

Erwähnt werden sollen an dieser Stelle das Handbuch Altlasten- und Grundwasserschadensfälle Baden-Württemberg, Altlastenerkundung mit biologischen Methoden - Materialien zur Altlastenbehandlung, Band 13, Karlsruhe, 1994, die Nachrichten aus Chemie, Labor und Technik, Band 45, Nr. 11 (Seite 1090 bis 1094), 1997, das Analytiker Taschenbuch, Band 18, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998, sowie das Buch „Field-Screening-Europe proceedings“ der ersten internationalen Konferenz über Strategien und Techniken für Forschung und Monitoring von Altlasten, Kluwer Academic publishers, Boston, London 1997.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hat dem Thema „Schnelle Vor-Ort-Analytik“ auch in der Neufassung ihrer Förderleitlinien Rechnung getragen. Wir werden in den kommenden Jahren daher thematisch wohl abgestimmte Projektideen bevorzugt im Verbund in die Förderung nehmen. Anfragen/Ideenpapiere können jederzeit der Umweltstiftung zur Prüfung der generellen Förderfähigkeit vorgelegt werden.

Behördliche Akzeptanz und Anforderungen an die Vor-Ort-Analytik

Dr. Uwe Kallert

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie

Die folgenden Anmerkungen beschäftigen sich mit der Akzeptanz der Vor-Ort-Analytik in der Altlastenbearbeitung.

Generell kann man feststellen, dass Behörden Verfahren bzw. Methoden, die durch die Gesetzgebung vorgegeben sind oder in der Stufe darunter durch Technische Richtlinien von Länderarbeitsgemeinschaften eingeführt wurden, als verbindlich anerkennen. Im Bereich der Gesetzgebung wird das Thema Vor-Ort-Analytik im Anhang 1 der Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BodSchV) behandelt.

Anhang 1 (BodSchV)

Anforderungen an die Probenahme, Analytik und Qualitätssicherung bei der Untersuchung

2.1 Probenahme für Bodenuntersuchungen - Festlegung der Probennahmestellen und Beprobungstiefen

Soll die räumliche Verteilung von Schadstoffen ermittelt werden, ist die zu untersuchende Fläche oder Teilfläche unter Zuhilfenahme eines Rasters repräsentativ zu beproben. Soweit aus Vorkenntnissen eine Hypothese über die räumliche Verteilung der Schadstoffe abgeleitet werden kann, ist diese bei der Festlegung des Rasters zu berücksichtigen. **Für die Hypothese können auch Ergebnisse aus einer geeigneten Vor-Ort-Analytik herangezogen werden.**

Abbildung 1: Auszug aus Anhang 1 der Bodenschutz- und Altlastenverordnung

Von den Länderarbeitsgemeinschaften beschäftigt sich die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) mit dieser Thematik. Die LAGA-Arbeitsgruppe „Qualitätssicherung in der Altlastenbearbeitung“ widmet der Thematik sogar ein eigenes Unterkapitel. Bei all diesen Bestrebungen ist die Qualitätssicherung ein zentrales Thema. Insofern ist es auch ein Schwerpunkt auf dem Gebiet der Vor-Ort-Analytik.

Neben der Tatsache, was aus Sicht einer Behörde gewährleistet sein muss, um Ergebnisse die mittels Vor-Ort-Analytik erzielt wurden auch anzuerkennen, muss man sich damit beschäftigen, in welchen Bereichen der Altlastenbearbeitung ein Einsatz möglich wäre.

Die Altlastenbearbeitung lässt sich grob in folgende Schritte bzw. Stufen einteilen:

- Orientierende Untersuchung
- Detailuntersuchung
- Sanierungsuntersuchung (incl. Sanierungsbegleitung und Flächenfreigabe).

Im Prinzip ist der Einsatz von Vor-Ort-Analytik in allen Schritten denkbar, da unter diesem Begriff sowohl einfache Feldmethoden als auch komplizierte Verfahren auf dem Niveau von Laboruntersuchungen zusammengefasst werden. Die Anforderungen, die an die Genauigkeit und Verlässlichkeit von Messwerten gestellt werden, sind im Rahmen einer orientierenden Untersuchung naturgemäß niedriger als im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung.

Allgemein lassen sich folgende Kriterien benennen, die aus meiner Sicht wesentlich für eine Akzeptanz unter dem Aspekt der Datenqualität sind:

Kriterien, um Vor-Ort-Analytik als Fachbehörde anerkennen zu können

- Alle für das jeweilige Projekt einzusetzenden Vor-Ort-Analysen-Geräte sind vor Beginn der eigentlichen Untersuchungskampagne standortspezifisch durch Analyse geteilter Proben zu überprüfen. Es muss eine akzeptable Korrelation zwischen den Datensätzen der Vor-Ort-Analytik und der Laboranalytik bestehen.
- Die Messgeräte sollten so ausgewählt werden, dass ihre höchste Genauigkeit im Bereich der für diesen Einzelfall relevanten Prüfwerte liegt.
- Die Nachweisgrenzen der eingesetzten Vor-Ort-Analysen-Methode sollte mindestens die Hälfte des jeweilig verwendeten Prüfwertes betragen.
- Ein Teil der durch Vor-Ort-Analytik gewonnenen Messergebnisse muss durch standardisierte Labor-Analytik überprüft werden. Dabei ist zu beachten, dass der gesamte Konzentrationsbereich abgedeckt wird.

Abbildung 2: Kriterien zur Akzeptanz der Vor-Ort-Analytik

Tabelle 1 zeigt die empfohlene Häufigkeit der mittels standardisierter Labormethoden durchzuführenden Kontrollmessungen im Vergleich zu den Methoden der mobilen Vor-Ort-Analytik.

Tabelle 1: Anzahl notwendiger Kontrollproben beim Einsatz der Vor-Ort-Analytik

Empfohlene Häufigkeit von Kontrollproben beim Einsatz von Vor-Ort-Analytik

nach Field Analytical Measurement Technologies, Applications and Selection vom
04/96

Ziel der Kontrollproben	in Zusammenhang mit Beurteilungen	in Zusammenhang mit Sanierungen
Blindprobe	5 % aller Proben oder 1 pro Serie bzw. pro Matrix (maßgeblich ist der höhere Wert)	5 % aller Proben oder 1 pro Serie bzw. pro Matrix (maßgeblich ist der höhere Wert)
Doppelbestimmung	5 % aller Proben oder 1 pro Serie bzw. pro Matrix (maßgeblich ist der höhere Wert)	5 % aller Proben oder 1 pro Serie bzw. pro Matrix (maßgeblich ist der höhere Wert)
zur Absicherung, wenn der Messwert über dem Prüfwert liegt	10 % (mindestens eine)	projektspezifisch
zur Absicherung, wenn der Messwert unter dem Prüfwert liegt	10 bis 20 %	projektspezifisch
zur Absicherung, wenn der Messwert unter der Nachweisgrenze liegt	10 %	projektspezifisch

Serie bedeutet hier alle Proben eines Tages durch ein und denselben Probennehmer, das sind in der Regel etwa 20 Proben.

Matrix bedeutet hier alle Proben eines Bereiches mit ähnlicher Bodenstruktur und ähnlichem Schadstoffspektrum.

Akzeptanz von Feldmethoden durch Ingenieurbüros und Auftraggeber

Jürgen Kübler

MOBILAB MM1 Umweltanalytik GmbH, Hamburg

Anwendung von schnellen Vor-Ort-Analysen

Schnelle Vor-Ort-Analysen gelangen in zwei Bereichen zur Anwendung:

Der erste Bereich umfasst im weiten Sinne die *Gefahrenabwehr*.

Dazu gehört im militärischen Bereich die Kampfstoffanalytik. Im zivilen Bereich auf behördlicher Ebene gelangt Vor-Ort-Analytik bei der Gefahrstoffkontrolle zur Anwendung, wie sie von den Feuerwehren und den Gefahrstoffschiffen eingesetzt wird. Nicht zu vergessen ist die Emissionskontrolle bei Hausfeuerungen durch den Bezirksschornsteinfeger. Hier hat sich das Berufsbild gänzlich durch den Einsatz der schnellen Analysenmethoden geändert. Bei der Abgassonderuntersuchung (ASU) im Kfz-Bereich wird ebenfalls meist mobil Vor-Ort untersucht. Abschließend für den ersten Bereich soll noch das breite Spektrum zur Arbeitsschutzüberwachung genannt werden, in dem bspw. der Photoionisationsdetektor (PID), Prüfröhrchen oder Bioindikatoren (ehemals Kanarienvogel im Bergwerk) zur Anwendung kommen oder kamen.

Der zweite Bereich umfasst im Wesentlichen die *Einsatzmöglichkeiten mit finanziellem bzw. rechtlichem Vorteil*.

Dazu gehört die Eingrenzung/Sortierung/Spezifizierung von festem Material und die Fragestellungen, die nur durch schnelle Vor-Ort-Methoden lösbar bzw. wirtschaftlich sind. Beispielsweise sei hier die Sortierung von kontaminierten Boden und Hölzern in verschiedene Belastungsklassen sowie die Abarbeitung von orientierender und anschließender detaillierter Erkundung in einem Arbeitsgang im Altlastenbereich, die Eigenüberwachung sowie die Prozesskontrolle genannt.

Keine (kaum) Anwendung von schnellen Vor-Ort-Analysen!

Deklarationsanalysen sind zur Entsorgung von kontaminiertem Material erforderlich. Grenz- und Leitwertanalysen sichern den Sanierungserfolg ab bzw. legen den Sanierungsbedarf fest. Gerichtsfeste Analysen sollen meist eine Straftat aufklären

helfen bzw. ein Rechtsverhältnis regeln. Vor-Ort-Methoden sind in diesen Bereichen nicht vorgesehen. Deshalb kommen Vor-Ort-Analysen selten in diesen Bereichen zur Anwendung, ohne dass Sie durch Laboranalysen abgesichert werden.

Weshalb muss Überzeugungsarbeit getan werden?

Schnelle Vor-Ort-Methoden werden zumeist als minderwertig betrachtet. Dies ist damit zu begründen, dass der Ausbildungsstand der im Umweltbereich tätigen Personen (Auftraggeber/Gutachter) nicht als ausreichend bezeichnet werden kann. Es herrscht oft Unkenntnis über analytische Verfahren und über die Schadstoffverteilung in den verschiedenen Matrices.

Daraus resultiert, dass die Ausschreibungsbedingungen zumeist auf Laborverfahren zugeschnitten sind. Hierbei werden DIN-Analyseverfahren und Parameter festgeschrieben. Ein weiterer Widerstand ergibt sich durch die Einbindung der schnellen Vor-Ort-Analytik in die Arbeitsabläufe der einzelnen Gewerke. Gelangt hochwertige Feldanalytik zur Anwendung, die „non target“ Analysen durchführen, ist die Bauaufsicht bei nicht auf den Listen erscheinenden Parametern oft überfordert. Die Baufirma wird zumeist nach Massendurchsatz bezahlt und hat somit kein Interesse geringe Wartezeiten für die Analyse zu tolerieren. Des Weiteren ist kein Anreiz durch die Auftraggeber (zumeist Behörde) gegeben, das Material zu sortieren. Die anfallenden Entsorgungskosten werden generell gegen Nachweis übernommen. Die derzeitigen niedrigen Entsorgungspreise und Laboranalysenpreise ermutigen die Auftraggeber lieber großzügiger auszukoffern und Mehrmengen an kontaminiertem Material in Kauf zu nehmen. Dass hierbei oft durch die Entsorgungskosten die Sanierungskosten um Millionen von DM steigen, wird als unumgänglich akzeptiert.

Unterstützt wird dieses Verhalten durch die Konkurrenz der Gutachter mit den Vor-Ort-Analytikern. Der derzeitige Preiskampf verhindert ein gegenseitiges Einvernehmen. Der Gutachter hat großes finanzielles Interesse einen Untersuchungs- bzw. Sanierungsfall möglichst lange Vor-Ort zu begleiten. Der Vor-Ort-Analytiker hingegen benötigt eine hohe Probenanzahl, damit sich die Feldanalytik

gegenüber der Laboranalytik rechnet. Eine mit Vor-Ort-Methoden durchgeführte Untersuchung kann z.B. durch parallelen Einsatz mehrerer Bohrtrupps innerhalb von drei Tagen abgeschlossen sein. Der Gutachter hingegen möchte lieber mit einem Bohrtrupp in 10 Tagen die Maßnahme abschließen. Der finanzielle Verlust bei Einsatz der schnellen Vor-Ort-Analysenmethoden beläuft sich für den Gutachter in diesem Fall auf ca. 7.000 DM.

Deshalb wird erfahrungsgemäß von der gutachterlichen Seite auf die Kosten der Verfahren hingewiesen und die Ängste vor entstehenden Kosten durch detaillierte Kenntnis des Schadstoffspektrums und Schadstoffverteilung geschürt.

Was ist zur Erreichung der Akzeptanz bisher getan worden?

International betrachtet, gelangen vor allem in den Vereinigten Staaten von Amerika Feldverfahren zur Anwendung. Dieses drückt sich darin aus, dass die US-EPA bereits die Evaluierung von Vor-Ort-Verfahren, z.B. von mobiler GC/MS, mobiler RFA und Cone-Penetrometersysteme, durchgeführt hat.

2 Kongresse und Messen mit Hauptthemen der mobilen Analytik werden alle 2 Jahre z.B. in Las Vegas durchgeführt.

In der Bundesrepublik Deutschland wurde zum ersten Mal ein vergleichbarer Kongress in Karlsruhe 1997 durchgeführt. Einzelne Firmen, die sich auf Vor-Ort-Analytik spezialisiert haben, können schon einzelne Rahmenverträge und interne Vereinbarungen vorweisen. Jedoch sind diese Erfolge im Vergleich zu dem Stellenwert, den Vor-Ort-Analytik in den USA besitzt, als bescheiden zu bezeichnen.

Wodurch kam die MOBILAB an die bisherigen Aufträge?

Seit über 10 Jahren sind wir auf dem Gebiet der schnellen Vor-Ort-Analytik tätig. Jahrelang musste sich unsere Firma gegen die Vorurteile der Behörde gegen mobile Vor-Ort-Analytik behaupten. Gespräche mit der Behördenleitung in Hamburg, verbunden mit Ringtests, brachten eine Anerkennung, ausgedrückt durch einen Rahmenvertrag mit der Freien und Hansestadt Hamburg.

Dennoch kamen wir noch nie durch eine öffentliche Ausschreibung zum Einsatz. Dieses hängt damit zusammen, dass zumeist keine Vor-Ort-Analytik ausgeschrie-

ben wird. Gelangt einmal ein Auftrag für mobile Vor-Ort-Analytik zur Ausschreibung, bieten bekannte Laboratorien ihre abgeänderten Laborverfahren preiswert als Feldmethoden an. Wird der Probendurchsatz bzw. die erforderliche Analysenqualität im Feld nicht erreicht, wird im Labor nachgebessert.

Der Auftraggeber muss bei jeder Analysenkampagne erneut von der Wirtschaftlichkeit und der Qualität überzeugt werden. Im Allgemeinen wird dieses durch Demonstration verbunden mit der Referenz erreicht.

Es gibt wenige Fälle, bei denen durch den vorherrschenden Zeitdruck die Notwendigkeit gegeben war, die MOBILAB ohne lange Verhandlungen einzusetzen.

Im Abfallbereich mit hohem Probenaufkommen sind schnelle Vor-Ort-Analysen aufgrund der Wirtschaftlichkeit konkurrenzlos gegen konventionelle Laboranalysen. Die Sortierung von Kabeltrommeln in behandelt und unbehandelt hat zwar im kleinen Maßstab (2000 Trommeln) sehr gute Resonanz erzeugt, jedoch wurde im Ausschreibungsverfahren über größere Stückzahlen aus preislichen Gründen auf eine Sortierung verzichtet, da bei der Verbrennung der Abfall als Wirtschaftsgut betrachtet wird. Dennoch bietet der Abfallbereich derzeit die größten Marktchancen. Werden von behördlicher Seite die immer diskutierten Eingangskontrollen zur Eigenüberwachung verlangt, wird schnelle Vor-Ort-Analytik die Anerkennung erhalten, die ihr fachlich zusteht.

Das mit immer veränderten Vorgaben erworbene Fachwissen hat der MOBILAB den Ruf eingebracht, schwierige Aufträge mit Speziallösungen zu bearbeiten.

Wie kann die Akzeptanz vorangetrieben werden?

Nach unserer Einschätzung kann die Akzeptanz von mobiler Vor-Ort-Analytik nur durch Demonstration verbunden mit detaillierter Information des Auftraggebers erreicht werden. Das Misstrauen gegenüber Feldmethoden ist so groß und so starken Widerständen ausgesetzt, dass nur durch den Beweis Überzeugungsarbeit getan werden kann.

Unter dem Namen „FAST-Programm“ (Feld-Analytik-Standardisierung-und-Test-Programm - engl.: Field-Analytic-Standardisation-Test-Program) könnten verschiedene schnelle Analysenverfahren in ausgewählten realen kommerziellen Fällen durch Zusammenfassung des Leistungsspektrums verschiedener Schnellme-

thoden, die Wirtschaftlichkeit und die Qualität demonstriert werden. Wird hierbei noch geeignete Qualitätssicherung für die Vor-Ort-Methoden implementiert, könnten ganz neue Ansätze im Untersuchungsbereich eingeführt werden. Wir sind überzeugt, dass die Auswertung der Ergebnisse auf wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Ebene wesentlich mehr bewirkt, als die Veröffentlichung von wissenschaftlichen Arbeiten in Fachzeitschriften und Kongressen, die, da sehr universitätsnah präsentiert, von den Auftraggebern wenig akzeptiert werden. Somit erscheint eine Präsentation der Ergebnisse nur im Rahmen von realen Fällen relevant.

Zusammenfassung

- Vor-Ort-Analytik wird in bestimmten Bereichen bereits eingesetzt.
- Vor-Ort-Analytik wird behindert durch mangelnden Sachverstand der Behörden. (Ausschreibung und Qualitätssicherung ist auf die Laboranalytik zugeschnitten.)
- Vor-Ort-Analytik kann nur durch den Preisvorteil etabliert werden.
- EPA-Evaluierungen untermauern die Nützlichkeit von Vor-Ort-Analytik. Die Qualität der Analysendaten -vor allem bei leichtflüchtigen Verbindungen- liegt nachweislich über der der Laboranalyse.
- Das „FAST-Programm“ - Feld-Analytik-Standardisierung-Test-Programm - könnte die Leistungsmerkmale der Vor-Ort-Analytik anhand realer Einsätze von verschiedenen Vor-Ort-Methoden an realen Fällen demonstrieren.

**Möglichkeiten schneller Bodenaufbereitungen unter Feldbedingungen
(Beispiel S4-Eluat)**

Dr. Arno Maurer

DVGW-Forschungsstelle, Bereich Wasserchemie, am Engler-Bunte-Institut
der Universität Karlsruhe

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

Analytische Methoden zur Untersuchung von Feststoffen erfordern im Allgemeinen eine Probenvorbereitung, um die gesuchten Analyten in eine flüssige Phase zu bringen. Neben den Gesamtgehalten an organischen bzw. anorganischen Stoffen, die durch Extraktions- und Aufschlussverfahren bestimmt werden, interessieren vor allem wasserlösliche bzw. durch wässrige Lösungen mobilisierbare Anteile. Dafür stehen verschiedene standardisierte Eluierverfahren zur Verfügung, deren bekanntestes im deutschsprachigen Raum die DIN 38 414 S4 ist. Eine Übersicht über die diesbezüglichen Methoden der Probenvorbereitung und die Stellung der Eluierverfahren ist in Abbildung 3 gegeben.

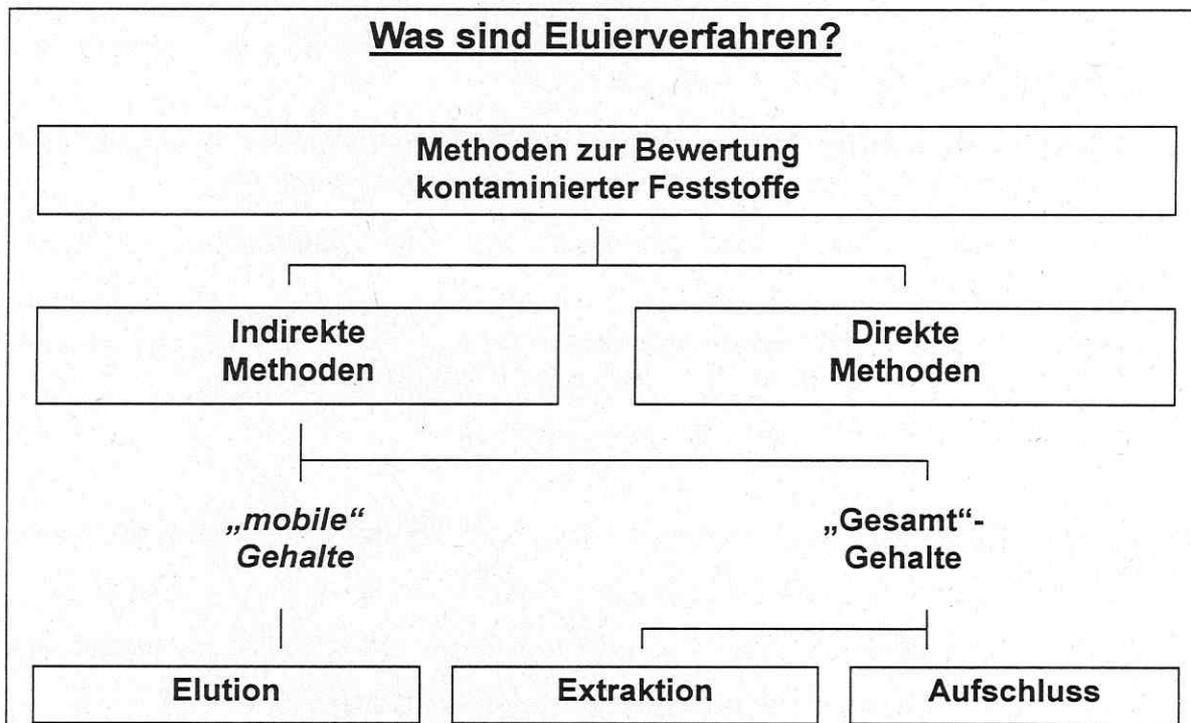


Abbildung 3: Übersicht über die Methoden der Probenvorbereitung

Die S4-Methode findet sich auch in dem europäischen Normentwurf prEN 12457 und der Vornorm V 19735 wieder und wird von nahezu allen Verordnungen und Richtlinien aus den Bereichen Bodenschutz, Altlasten, Abfallwirtschaft und Baustoffrecycling gefordert. Eine Zusammenstellung dieser Verordnungen und Richtlinien erfolgt in Abbildung 5.

Aus diesen Anforderungen resultiert ein breites Anwendungsfeld der Eluierverfahren insbesondere des genormten Verfahren nach DIN 38 414 S4. Dies schließt folglich die Anwendungen dieses Verfahrens auf die unterschiedlichsten Probenmatrices und die nachfolgende Bestimmung eines breiten Substanzspektrums ein. Eine diesebezügliche Zusammenfassung ist Abbildung 4 zu entnehmen.

Anwendungsbereiche

Wo werden Eluierverfahren (insb. DIN S4) gefordert?

- **Abfall:** Untersuchung und Bewertung von Siedlungsabfall, Sonderabfall, Klärschlamm, MVA-Aschen/Schlacken, Erdaushub (Charakterisierung, Deklaration, Identitätskontrolle)
- **Altlasten und Schadensfälle:** Erkundung, Bewertung, Sanierung, Überwachung (Monitoring, Erfolgskontrolle)
- **Sekundärbaustoffe:** Bewertung von aufbereitetem Straßenaufbruch und Bauschutt, Recyclingbaustoffen, industriellen Nebenprodukten
- **Kulturböden, Komposte:** Untersuchung von Nährstoffen, mobilen Schadstoffen etc.
- **Konstruktionsmaterialien:** Untersuchung der Auslaugbeständigkeit von Materialien und Bauelementen z.B. für die Wasserversorgung

Abbildung 4: Anwendungsbereiche von Eluierverfahren

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass das Prinzip des Eluierverfahrens nach DIN 38 414 S4 darin besteht, ca. 100 g der Feststoffprobe mit einem Liter Wasser 24 h im Überkopfschüttler bei 2-3 Umdrehungen pro Minute zu versetzen. Anschließend erfolgt die Abtrennung des Feststoffrückstandes.

Richtlinien für Boden/Altlasten

- **BBodSchG** (1998)
- **E-BBodSchVO**, Anhang I: Anforderungen an die Untersuchung, Qualitätssicherung u. Dokumentation der Bodenschutz- u. Altlastenverordnung (1998)
- **Verwaltungsvereinbarung OFD Hannover-BAM**: Anforderungen an Untersuchungsmethoden zur Erkundung und Bewertung kontaminationsverdächtiger/kontaminierter Flächen und Standorte auf Bundesliegenschaften (1997)
- **BaWü VwV** über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen, novelliert (1998)
- **NRW-Erlass** Analysenverfahren für Untersuchungen im Zusammenhang mit der Abfallentsorgung und Altlasten (1988)
- **Hessen VVwV** für die Feststellung und Sanierung von Altlasten (1996)
- weitere Länder-VwV

Richtlinien für Abfälle/Reststoffe

- **KrW-/AbfG** (1994)
- 2. Allg. VwV zum AbfG (**TA Abfall**), 1991; 3. Allg. VwV zum AbfG (**TA Siedlungsabfall**), 1993
- **LAGA-Mitteilungen 20/1, 20/2**: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Rohstoffen/Abfällen - Technische Regeln (1994)
- **BaWü VwV** Entsorgung von Erdaushub, Straßenaufbruch und Bauschutt (1988); Lieferbedingungen für aufbereiteten Straßenaufbruch und Bauschutt (1991)
- **NRW-Erlasse** Anforderungen an die Verwendung von aufbereiteten Altbaustoffen (Recycling-Baustoffen) und industriellen Nebenprodukten; Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (1991)
- **RAL 501**: Güte- und Prüfbestimmungen für Recycling-Baustoffe im Straßenbau (RAL 501/1) und für die Aufbereitung zur Wiederverwertung von kontaminierten Böden und Bauteilen (RAL 501/2)

Abbildung 5: Übersicht über bestehende Richtlinien im Boden-, Altlasten- und Abfallbereich

In vielen Fällen ist dabei die Beurteilung der entsprechenden Materialien ein zeitkritischer Prozess, so bei der Abfalleingangskontrolle an Deponien oder der Zuordnung von ausgekoffertem Material bei der Altlastensanierung. Hier wird eine standardisierte Analytik unter Einbeziehung der DIN S4 in der Praxis oft umgangen und durch Schnellverfahren ersetzt. Generell muss das 24-Stunden-Eluat als zeitliche Engstelle des Analysenprozesses betrachtet werden. Schnelle Eluierverfahren, bei denen die Elution unter Anwendung mechanischer oder thermischer Energiezufuhr auf wenige Minuten begrenzt wird, sind relativ einfach zu realisieren und finden sich vereinzelt in der Literatur. An der LfU und am Engler-Bunte-Institut wurden dazu systematische Untersuchungen durchgeführt. In Abbildung 6 sind die Argumente für die Durchführung von Schnelleluierverfahren zusammengefasst.

Warum schnelle Eluierverfahren?

- **Logistisches Argument:** Steuerung von Stoffströmen z.B. bei Abfalleingangskontrolle und Altlastentriagierung ist zeitkritisch ☞ *Schnellverfahren zwingend*
- **Strategisches Argument:** Erkundung von Altlasten und Schadensfällen ist ein dynamischer Prozess (Rückkopplung von Probenahme, Analytik und Bewertung) ☞ *Probenaufbereitung ist eine Engstelle*
- **Monetäres Argument:** Kostenersparnis durch Zeitvorteile
- **Normatives Argument:** Das DIN S4-Verfahren erhebt *nicht den Anspruch, die Realität abzubilden*, sondern ist operationell definiert ☞ kann daher durch ein *gleichwertiges operationelles* Verfahren ersetzt werden!
- **Technisches Argument:** Einsatz von Schnelltests und Vor-Ort-Analytik setzt eine schnelle Probenaufbereitung voraus; wünschenswert auch für Biotests
- **Qualitatives Argument:** Präzision von Schnelleluierverfahren ausreichend (v.a. im Hinblick auf Fehler bei Probenahme und Schnelltests)

Abbildung 6: Argumente zum Einsatz schneller Eluierverfahren

Die Anforderungen an derartige Verfahren der Schnellelution bezüglich Extraktionsbedingungen und Technik zeigt Abbildung 7.

Was heißt Schnelleluierverfahren ?

- **Versuchsparameter:** Elutionsdauer: 1 - 60 min, i. Allg. ≤ 10 min (DIN S4-Verfahren: 24 h); L/S-Verhältnis i. Allg. 10:1 (analog DIN S4-Verfahren)
- Beschleunigung durch Zufuhr mechanischer und/oder thermischer Energie (Schütteln, Rühren, Ultraschall, Erwärmen, Mikrowellen, Druck)
- **Technik:** Verwendung von marktverfügbaren, bewährten Geräten; für Feldanalytik handliche, ggf. netzunabhängige Techniken wünschenswert
- **Messkriterien:** z.B. Eluatparameter nach TA Abfall (pH, Leitfähigkeit, Metalle, Anionen, Summenparameter; i. Allg. keine organischen Einzelstoffe)
- **Forderungen:** robuste Methode; Eluatgehalte korrelierbar (oder vergleichbar) mit DIN S4; Ergebnisse reproduzierbar; definierbare Wiederholgenauigkeit (im Idealfall niedrig, vergleichbar DIN S4)

Abbildung 7: Anforderungen an Schnelleluierverfahren

Methodenspektrum der Schnelleluierverfahren

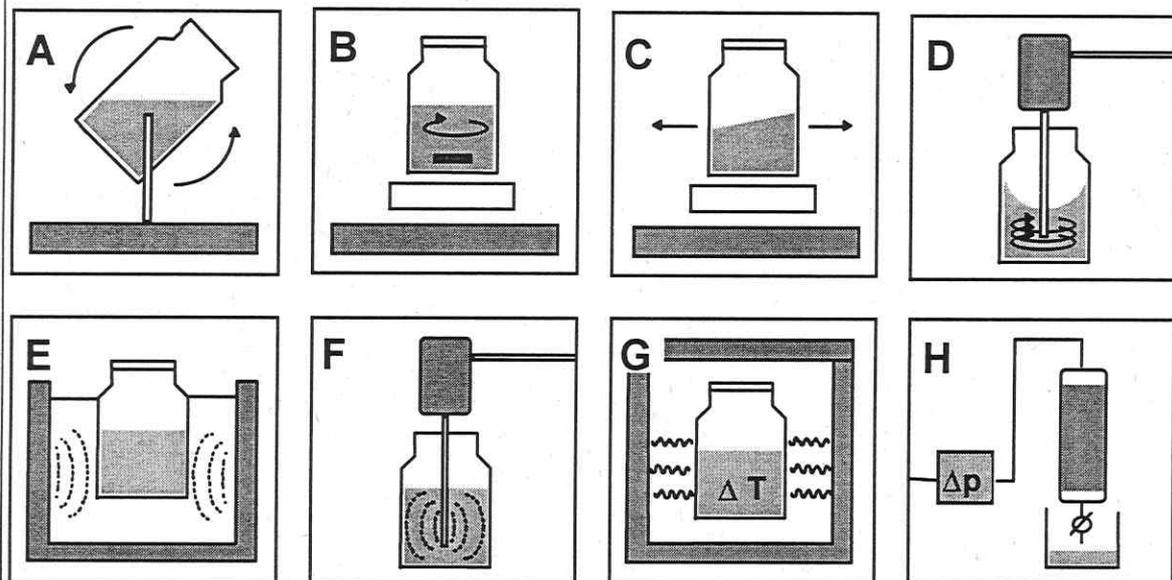


Abbildung 8: Ausgewählte Methoden zur Schnelleluierung

- | | |
|---------------------------|---------------------|
| a: Überkopfschüttler (S4) | b: Magnetrührer |
| c: Schütteltisch | d: Ultrarührer |
| e: Ultraschallbad | f: Ultraschallsonde |
| g: Mikrowellengerät | h: Perkolations/ASE |

Das derzeit verfügbare methodische Spektrum zur Durchführung von Schnellelutionen ist in Abbildung 8 schematisch dargestellt. Ein Teil dieser Verfahren basiert auf der Verwendung von Ultrarührern oder Ultraschall bzw. auf Temperatur- oder Druckerhöhungen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass diese Schnelleluierverfahren bei richtiger Durchführung im Hinblick auf Eluatgehalte und Genauigkeit ähnliche Ergebnisse erzeugen können wie das Standardverfahren. Abbildung 9 dokumentiert dies anhand der Gegenüberstellung der nach Schnellelution bzw. DIN-gerechter Arbeitsweise ermittelten Analyseergebnisse ausgewählter Parameter.

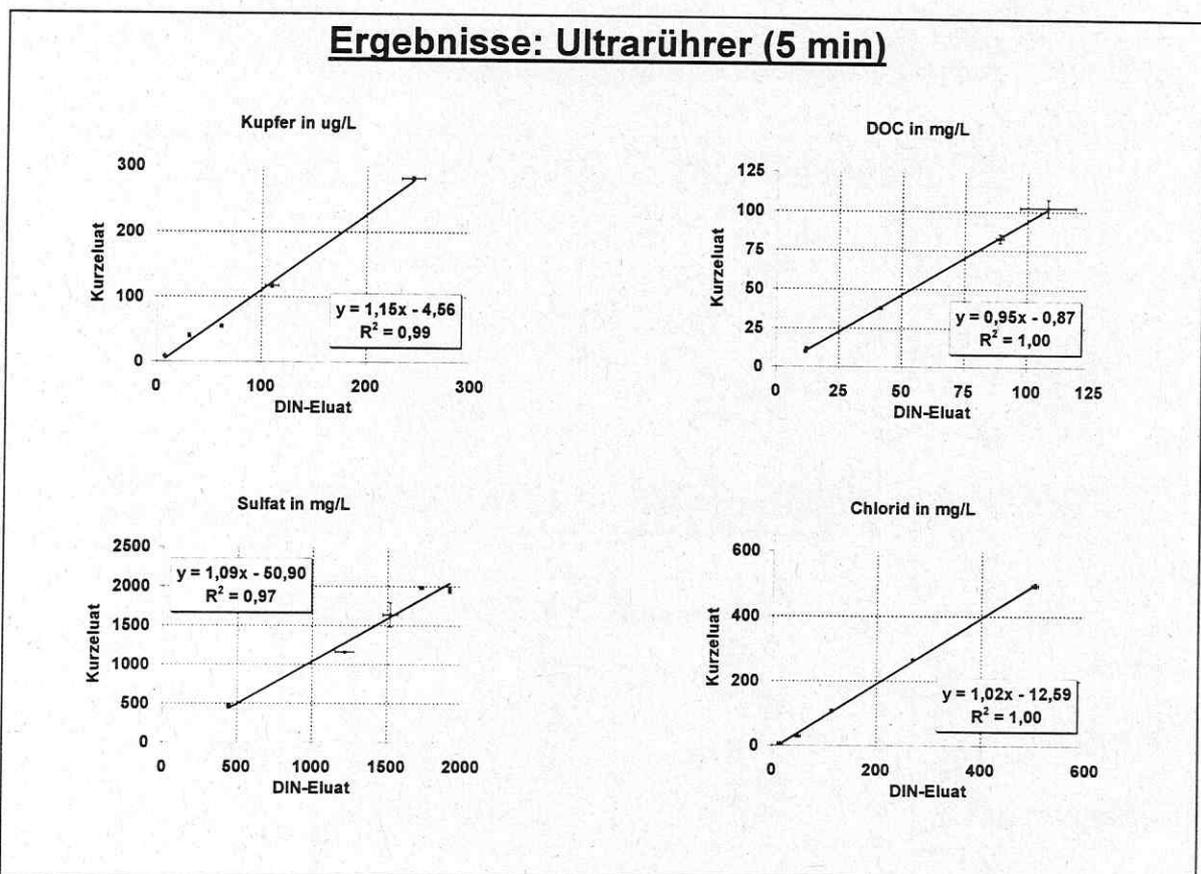


Abbildung 9: Vergleich ausgewählter Analyseergebnisse nach Anwendung verschiedener Eluierverfahren

Im gezeigten Beispiel wurden die Schnellelutionen unter Verwendung eines Ultrarührers durchgeführt, der im Bereich zwischen 15000 und 25000 U/min arbeitet. Die Probe wird dabei zerkleinert und leicht erwärmt. Nach einer kurzen

Sedimentationszeit wurden die Festrückstände abzentrifugiert. Die Bestimmung der Kationen erfolgte mittels Atomabsorptionsspektroskopie, die der Anionen durch Ionenchromatographie. Es wurden jeweils Mittelwerte aus dreifach durchgeführten Eluaten bestimmt, gegeneinander aufgetragen und eine lineare Regression durchgeführt. Das Ergebnis der Regressionsanalyse mit den um 1 variierenden Korrelationskoeffizienten bestätigt die gute Übereinstimmung der mit beiden Verfahren ermittelten Analyseergebnisse.

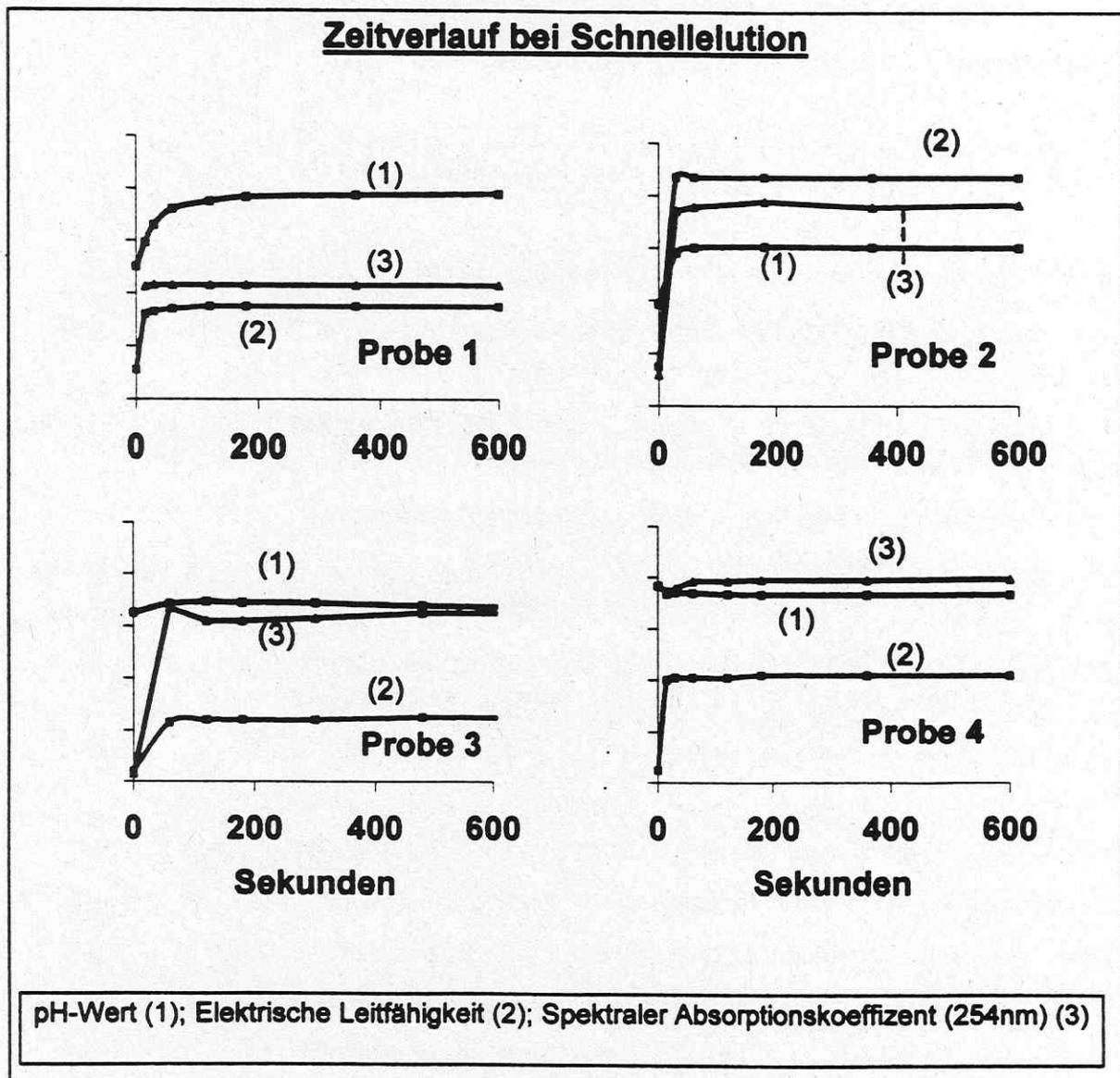


Abbildung 10: Zeitverlauf bei Schnellelutionen bezüglich ausgewählter Bestimmungsgrößen

Abbildung 10 dokumentiert anhand des Ultraröhres, dass bei Einsatz von Schnelleluierverfahren schon kurze Eluierzeiten für eine vollständige Erfassung der Bestimmungsgrößen ausreichend sind. Im gezeigten Beispiel wurden die aus Sonderabfallschlämmen gewonnenen Eluate in Abhängigkeit der Zeit bezüglich der genannten Summenparameter analysiert.

Da das S4-Verfahren operationell definiert ist, könnte an seine Stelle ein gleichwertiges operationelles Verfahren treten. Bisher ist jedoch bei Schnelleluierverfahren keinerlei Übereinkunft oder Konvention in Sicht. Ein Übersicht über den gegenwärtigen Stand enthält Abbildung 11.

<u>Stand der Konvention</u>	
•	☞ <i>Bisher keinerlei bindende Übereinkunft für ein einheitliches Verfahren</i>
•	Europa: CEN TC292 "Waste characterization": Level 3 <i>On-site verification testing</i> definiert; Workshop <i>short test methods</i> geplant
•	Bund: UBA-Studie über Schnellerkennungsmethoden für die Eingangskontrolle bei Abfallbeseitigungsanlagen, UBA-Bericht 5/1988
•	☞ "Pseudo-Konvention": 10 min Ultraschallbehandlung
•	Länder: LAGA-ATA AG Analysenverfahren: Bedarf an einheitlichen und verlässlichen Schnelleluierverfahren erkannt
•	Baden-Württemberg: LfU-Texte & Berichte zur Altlastenbearbeitung 32/97: ☞ Verfahrensempfehlung (20 min Ultraschallbehandlung)

Abbildung 11: Gegenwärtiger Stand der Konventionen

Künftige Untersuchungen sollten sowohl einen repräsentativen Vergleich mit statistischer Auswertung wie auch grundlegende Experimente zur Kinetik von schnellen Eluierprozessen enthalten. Damit sollte längerfristig eine Datenbasis für die Schaffung eines standardisierten Verfahrens oder einer geeigneten Rahmenempfehlung geschaffen werden. Der daraus resultierende FuE-Bedarf ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

12. Osnabrücker Umweltgespräch „Schnelle Vor-Ort-Analytik“

Tabelle 2: FuE-Bedarf zur Validierung schneller Elutionsverfahren

Aspekt	Zeit-rahmen	Inhalte	Ziele
praktisch	<i>kurz-fristig</i>	Erprobung, Vergleich und experimentelle Absicherung verschiedener Verfahren	Präzisierung der Möglichkeiten und Grenzen (Datenqualität, Einfluss der Probenart)
wissen-schaftlich	<i>mittel-fristig</i>	grundlegende Untersuchungen (Kinetik, Modellrechnungen)	phys.-chem. Verständnis schneller Elutionsvorgänge; Übertragbarkeit
rechtlich	<i>länger-fristig</i>	Bewertung, Auswahl und Validierung brauchbarer Verfahren	Schaffung eines Standards bzw. einer Rahmenempfehlung

weiterführende Literatur

- (1) MAURER, A. (Hrsg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg): Schnelleluivverfahren und TOC-Testkit – Erprobung für die Abfalleingangskontrolle und Altlastenerkundung im Vergleich mit Standardmethoden. *Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung* 32/97, LfU, Karlsruhe, 1997 (32 S.).
- (2) MAURER, A.; FRIMMEL, F.H.; EITEL, W.: Rapid Leaching Procedures for On-Site Analysis. In: Gottlieb, J.; Hötzl, H.; Huck, K.; Nießner, R. (Hrsg.): *Field Screening Europe*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997, 39-42.
- (3) MAURER, A.; EITEL, W.; FRIMMEL, F.H.: Schnelle Probenelution bei der Abfalleingangskontrolle - Methodenvergleich mit der Elution nach DIN 38 414 S4 und Erprobung eines TOC-Testkits. *Müll und Abfall* 7 (1998), 437-445.
- (4) MAURER, A.; EITEL, W.: Schnelleluivverfahren bei der Eingangskontrolle einer Sonderabfalldeponie - Ist das Ergebnis akzeptabel? In: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): *Jahresbericht 1996/1997. Berichte der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg* Bd. 21, Karlsruhe, 1998, 94-96.

Visualisierte Multiparameterdünnenschichtchromatographie als Feldmethode

Dr. Johannes Flachowsky

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Informations- und Interpretationsprobleme von Analysendaten bei der Altlastenerkundung, Sanierungskontrolle und Umweltvorsorge, Kostendruck und Fragen der Richtigkeit des Handelns in der weitgehend nicht genormten präanalytischen Phase sind Anlass, nach neuen Ansätzen und Wegen zur schnellen stofflichen Beschreibung in diesen Bereichen zu suchen.

Wegen der Heterogenität von Matrix und Kontamination im Boden, der lateralen und tiefenorientierten Zufallsverteilung der Schadstoffe in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone bieten sich analytische Ansätze an, bei denen die analytische Prozedur am Untersuchungsort durchgeführt wird und bei eingeschränkter Präzision des Einzelergebnisses oder der eingeschränkten Bestimmung nach Einzelstoffen schnell sequentiell oder in großer Zahl parallel analytische Daten erzeugt werden, die als Standortscreening für die Erkundung, Kontrolle von Sanierungsfortschritten oder vorsorgenden Kontrolle und Überwachung stoffwandelnder Prozesse benutzt werden können.

Diese Vorgehensweise soll schnelle Vor-Ort-Analytik genannt werden. Sie ersetzt nicht die klassische Laboranalytik. Sie dient vielmehr der Optimierung von Probenahme, Standorterkundung und betrieblicher Überwachung.

Die Anforderungen an eine solche Analytik sind bestimmt durch die Parameter:

- einfache (und kostengünstige) Gerätesysteme,
- unmittelbare Verfügbarkeit der Messwerte,
- Robustheit der Analysenmethode,
- Quantifizierbarkeit der Ergebnisse,
- Dokumentation und Qualitätssicherung,
- Multiparameteranalytik.

Gedanklicher Ansatz ist nicht die Herausarbeitung neuartiger analytischer Prinzipien, sondern die anwenderfreundliche und kostengünstige Umsetzung und Anpassung bekannter analytischer Methoden und Techniken für den Feld- oder

Betriebskontrolleinsatz (produktionsintegrierter Umweltschutz für klein- und mittelständige Betriebe), die Bereitstellung von System (Hardware)- und Problemlösungen und analytischer Strategien und Methoden als verkaufsfähiges Produkt für den potentiellen Anwender. In Abbildung 12 sind einige Auswahlkriterien zusammengefasst.

- Kosten (Anschaffung, Betrieb)
- Anforderungen an das Personal
- Handhabbarkeit (handgehalten, tragbar, transportierbar, leicht bedienbar)

- ◆ Schadstoffspektrum, Dynamikbereich, Selektivität
- ◆ Anforderungen an die Probenvorbereitung
- ◆ Messdauer

- * Datenmanagement und Interpretation
- * Qualität des Analysenverfahrens und analytische Qualitätssicherung

Abbildung 12: Auswahlkriterien für die Messtechnik

Wesentlich für die schnelle Vor-Ort-Analytik ist die Probenvorbereitung, da in vielen Fällen nicht der Messvorgang, sondern diese der zeitbestimmende Faktor ist. Damit ergibt sich Forschungsbedarf bezüglich der Eignung und der Übereinstimmung schneller Verfahren der Probenaufbereitung mit den über Normungsvorschriften festgeschriebenen Vorgehensweisen (siehe Beitrag A. Maurer). Gleichzeitig sind die zu erwartenden Veränderungen im Rahmen der CEN zu berücksichtigen.

Dabei sind für Gefährdungsabschätzung, Sanierungskontrolle und Standortüberwachung eine Reihe ausgewählter Messparameter festgelegt, die durch schnelle Vor-Ort-Analytik ebenfalls erfasst werden müssen.

Zur Bereitstellung anwendbarer Messtechnik als Produkt von System- und Problemlösung auch für den analytisch wenig qualifizierten Techniker („Hausfrauenlösung“) sind demzufolge Verbände von Analytikern, Geräteherstellern und Anwendern notwendig, die bei aller rechtlichen Eigenverantwortung ein ausgewähltes Problem gemeinsam bearbeiten mit dem Ziel, ein verkaufsfä-

higes und anwenderfreundliches Produkt bereitzustellen. Voraussetzung für den marktwirtschaftlichen Erfolg sind die Akzeptanz der Behörden und der Anwender. Wie ist die Dünnschichtchromatographie in das Spektrum möglicher analytischer Methoden der schnellen Vor-Ort-Analytik einzuordnen?

Von den analytischen Möglichkeiten gibt es kaum eine vergleichbare Analysenmethode mit einer so großen Vielfalt von Anwendungen. Hier sind in idealer Weise Trennung, Detektion und Dokumentation in einem Verfahrensschritt vereinigt. Die Gerätetechnik für die Laboranalytik reicht von simplen Handverfahren bis zu einer ausgefeilten instrumentellen Technik bei der HPTLC (high performance thin layer chromatography). Es existiert ein umfangreiches Marktangebot an leistungsstarken und kostengünstigen Fertigschichten, Auftrags- und Entwicklungstechniken für die klassische Laborpraxis. In Abbildung 13 sind die wichtigsten Charakteristika dieser Methode zusammengestellt.

- hoher Probendurchsatz (>50/d) durch eine parallele Probenbearbeitung,
- gleichzeitiger Auftrag von bis zu 25 Proben und Standards pro DC-Platte,
- Plattenvorbehandlung und/oder Mehrfachentwicklung mit unterschiedlich mobilen Phasen zur selektiven Stoffgruppentrennung,
- schnelle Horizontalkammerentwicklung bei minimiertem Lösemittelverbrauch,

- ◆ großer Dynamikbereich durch Extraktkonzentrierung,
- ◆ interne Kalibrierung durch mitlaufende Standards,
- ◆ Verwendung unterschiedlicher Detektionsverfahren (u. a. colorimetrischer Vergleich) mit Nachweisgrenzen im sub-Nanogramm-Bereich,

- * einfache Handhabung, geringer Platzbedarf, niedrige Analysenkosten,
- * uneingeschränkte Lagerfähigkeit des Plattenmaterials,
- * archivierbare Dokumentation über Visualisierungstechniken.

Abbildung 13: Leistungsmerkmale der Dünnschichtchromatographie

(s.a. H. Schelhorn: Mineralölkohlenwasserstoffbestimmungen unter Feld- und Laborbedingungen mit dünnschichtchromatographischen Methoden, ANAKON 95, I-29, Schliersee, April 1995)

12. Osnabrücker Umweltgespräch „Schnelle Vor-Ort-Analytik“

Flüchtige Substanzen sind mittels Dünnschichtchromatographie nicht nachweisbar und eine extraktive Probenvorbereitung ist unbedingt erforderlich.

Das prinzipielle Konzept einer robusten und damit feldfähigen Dünnschichtchromatographie als Erkundungsverfahren im Altlastbereich, als Eingangskontrollverfahren in der Abfallwirtschaft und vor allem als Überwachungsmethode im produktintegrierten Umweltschutz für kleine und mittlere Unternehmen ist in Abbildung 14 schematisch dargestellt.

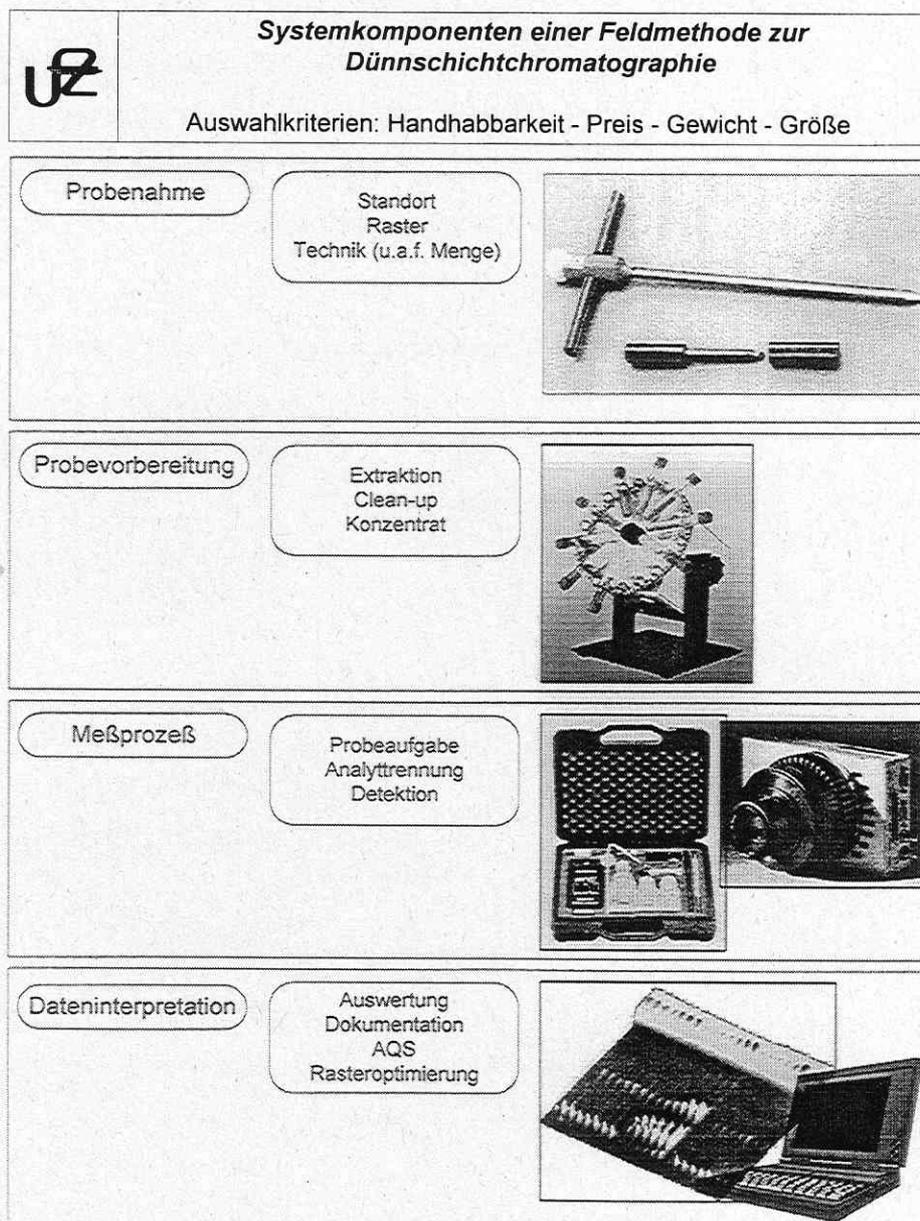


Abbildung 14: Ausrüstungsschema einer feldfähigen Dünnschichtchromatographie

Neben der insgesamt für die Vor-Ort-Analytik bereitzustellenden Problemlösung als einer auch für den Nichtanalytiker nachvollziehbaren und funktionierenden Arbeitsanweisung bspw. zur gleichzeitigen Bestimmung von MKW, PAK und PCB oder kontrollpflichtiger Betriebsstoffe besteht die Notwendigkeit, kostengünstige Hardwarelösungen zu entwickeln, die eine dokumentierbare Qualitätssicherung erlauben. Dies sollte im einfachsten Fall durch Videodokumentation mit visualisierter Peakflächenauswertung unter Verwendung handelsüblicher Digitalkameras aus dem Konsumbereich (bspw. PAK, MKW und PCB in Abbildung 15) möglich sein.

In Abbildung 16 ist am Beispiel der Auftrennung der PAK mittels Dünnschichtchromatographie die Leistungsfähigkeit der Methode unter Verwendung der Laborvideodokumentation (untere 3D - Abbildung als Ausschnitt des oberen DC-Laufes mit 22 aufgetragenen Bahnen) demonstriert.



Abbildung 15: Lösungsansatz für eine kostengünstige Visualisierung

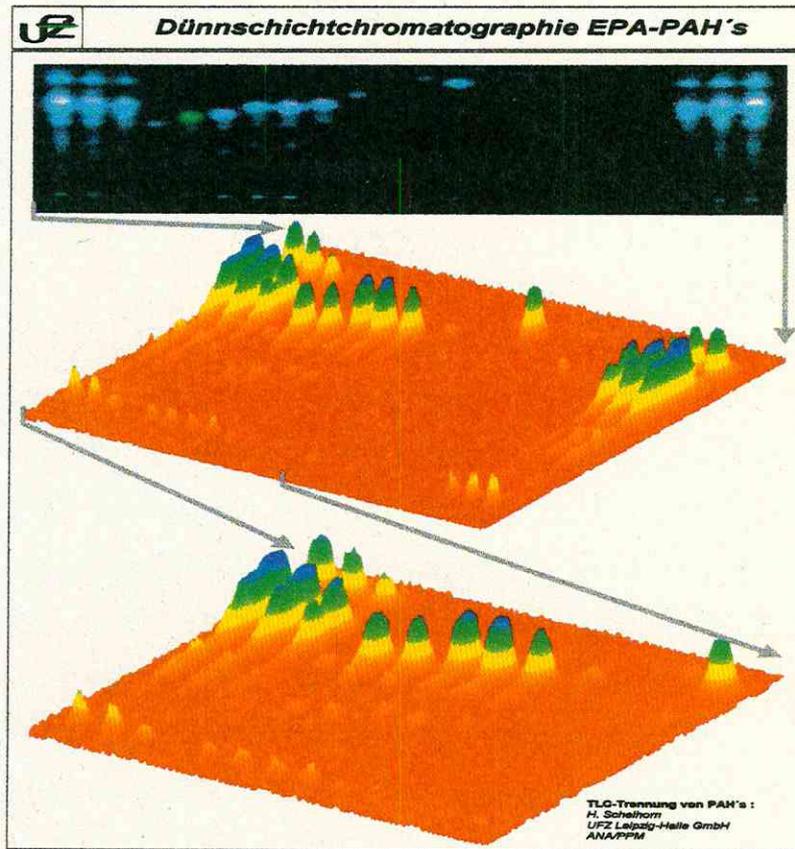


Abbildung 16: Auswertung aufgetrennter PAK über visualisierte 3D - Darstellung

Unter Verwendung von mit Al_2O_3 beschichteten DC-Alufolien gelingt die Trennung der PAK und der einfache Nachweis über die UV-Fluoreszenz für die drei Gruppen:

- Pyren, Fluoranthen
- Benzo(k)fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(a)pyren und
- Dibenzo(a,h)anthracen, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Benzo(g,h,i)perylen.

Die Extraktionen von 5 g Boden und eine Aufkonzentrierung auf 0,1 ml führen zu Nachweisgrenzen von $<0,03$ mg/kg. Von Vorteil ist die separate Detektion der Benz(a)pyren-Gruppe. Durch modifizierte Vorbehandlung der Platten ist gleichzeitig die Bestimmung der Mineralölkohlenwasserstoffe und durch Messung des Fluoreszenzquenching auch die Ermittlung der PCB-Gehalte möglich.

Zeitbestimmend für das Verfahren unter Laborbedingungen ist die Probevorbereitung (Extraktionszeit >30 min), die Laufzeit des Lösemittels auf der Platte (>15 min) und die nachfolgende Datenauswertung. Durch die Parallelbearbeitung von

Proben wird der Zeitbedarf pro Probe erheblich verkürzt. Die Kosten für ein komplettes HPTLC-System für die analytische Laborpraxis haben eine Größenordnung von 100 TDM. Für eine praxisrelevante Methode der schnellen Vor-Ort-Analytik müssen neben der beschleunigten Probevorbereitung vereinfachte Gerätekonzeptionen entwickelt werden, die einen Kostenrahmen von <20 TDM haben.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Dünnschichtchromatographie alle Voraussetzungen erfüllt, als Trenn- und Bestimmungsmethode in die schnelle Vor-Ort-Analytik integriert zu werden. Im Gegensatz zu den meisten anderen Feldmethoden lassen sich gleichzeitig mehrere Stoffklassen detektieren, unbekannte Substanzen erkennen und das Analyseergebnis einfach dokumentieren. Forschungs-, Entwicklungs- und Applikationsbedarf besteht in der Vereinfachung und Kostenreduzierung bei Anwendung als HPTLC (Hardwarereduzierung), in der Bestimmung von Matrixeinflüssen (Bodenstruktur) und Querempfindlichkeiten sowie in der Ableitung eindeutiger SOP's für den analytisch nicht vorgebildeten Anwender.

Immunologische Test-Kits als Field Screening Methode

Dr. Petra Krämer

Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH

Der Einsatz von Immunoassay Test-Kits als Field Screening Methode steht im Mittelpunkt des nachfolgenden Beitrages. Immunoassays als analytische Schnellmethode erlangen insbesondere im Umweltbereich infolge ihrer einfachen Handhabung und der in den letzten Jahren forcierten Methodenentwicklung zunehmend Bedeutung. Der Beitrag enthält nach einer kurzen theoretischen Einleitung und der Vorstellung kommerziell erhältlicher Test-Kits Ausführungen zur Methodvalidierung und zu den erzielten Ergebnissen. Aus diesen Erkenntnissen resultiert wird auf einige Punkte des FuE-Bedarfs geschlussfolgert.

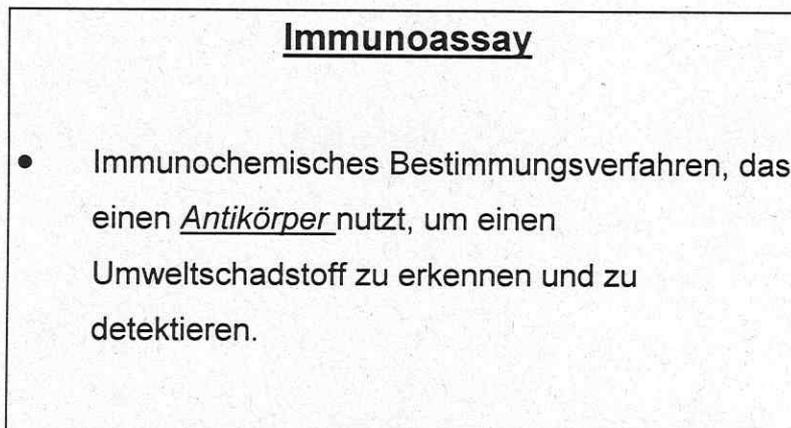


Abbildung 17: Begriffsdefinition Immunoassay

Ein Immunoassay nutzt einen Antikörper zur Erkennung eines Umweltschadstoffes. Dieser Antikörper ist in der Regel selektiv für eine Substanz. Bezüglich der vorgestellten Untersuchungen kamen Test-Kits für PAK und TNT zur Anwendung, die für den Altlastenbereich validiert wurden (BMBF-Projekt). Abbildung 18 zeigt schematisch das Funktionsprinzip der am häufigsten im Umweltbereich eingesetzten Test-Kits.

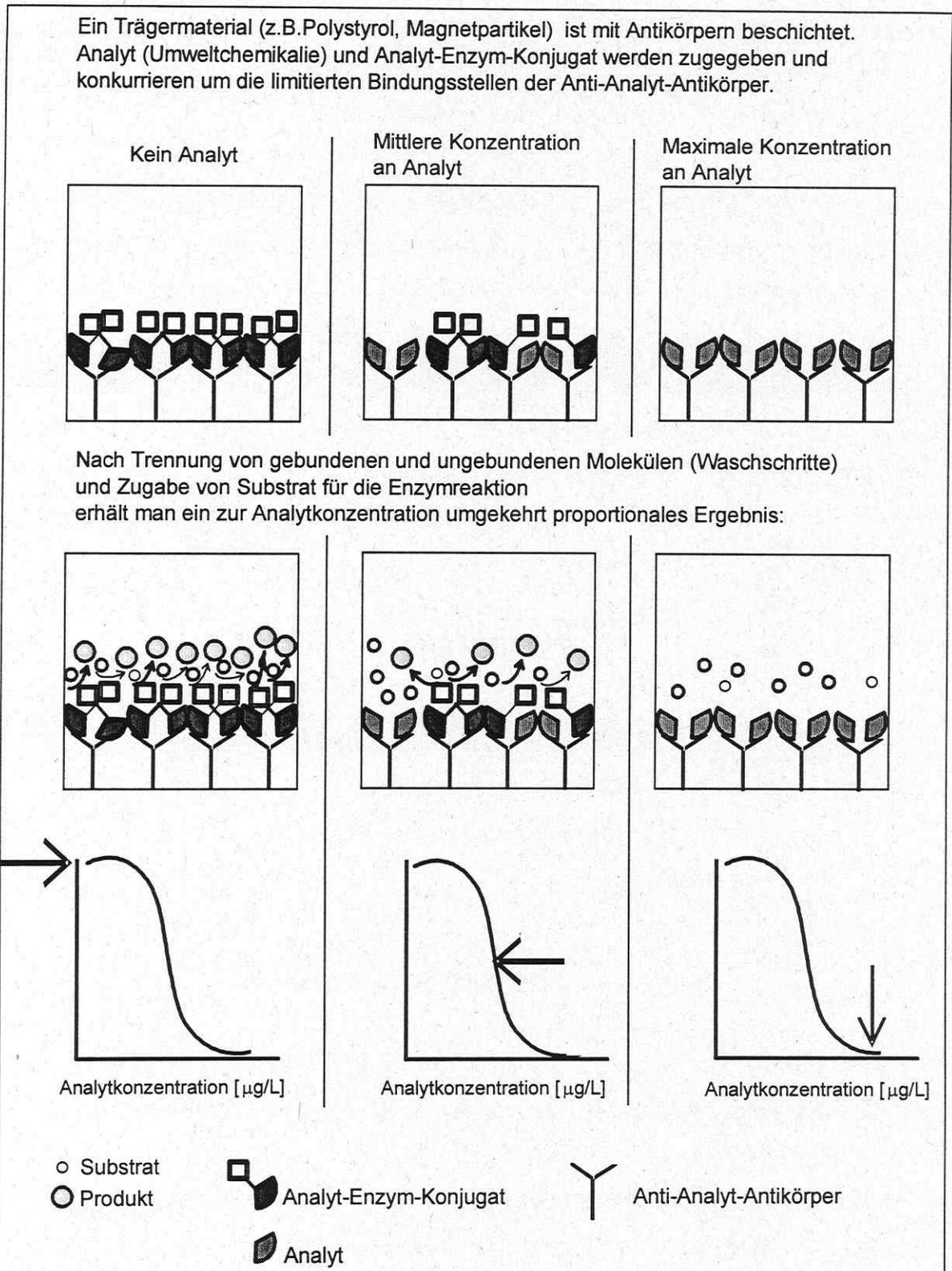


Abbildung 18: Funktionsprinzip der Immunoassays

Die Antikörper, die hierin verwendet werden, müssen zunächst in einem Tier hergestellt werden. Es gibt zwar auch schon Entwicklungen von rekombinanten Antikörpern, doch diese Technologie wird z.Z. noch nicht für diesen Bereich routinemäßig eingesetzt. Anzumerken ist hierbei, dass diese Immunoreagenzien (einschließlich des Analyt-Enzym-Konjugates) nicht allgemein verfügbar sind. Daher besteht hier ein sehr großer FuE-Bedarf hinsichtlich der kommerziellen Verfügbarkeit dieser Reagenzien. Zur Zeit werden diese für Umweltanalyte hauptsächlich in Universitäten hergestellt.

Zum besseren Verständnis sei hier die Definition eines Test-Kits, wie sie vom AOAC Research Institute veröffentlicht wurde, aufgeführt. Wichtig ist hierbei, dass ein Test-Kit für eine bestimmte Matrix angeboten wird. Es ist daher nicht ohne weiteres möglich einen Test-Kit für Wasser auf die Matrix Boden anzuwenden. In solchen Fällen sollte immer die Firma konsultiert werden. Leider wird dies z.Z. noch wenig beachtet, wodurch es häufig zu Fehlern kommt.

Test-Kits

Das **AOAC Research Institute** definiert Test-Kits folgendermaßen:

„Ein Test Kit ist ein kommerziell verpacktes System der Hauptkomponenten einer analytischen Methode, die benutzt werden, um die Anwesenheit eines spezifischen Analyten (spezifischer Analyte) in einer vorgegebenen Matrix (Matrices) zu bestimmen. Test Kits beinhalten Anleitungen zu ihrem Gebrauch und sind häufig in sich abgeschlossene, komplette Analysensysteme; eventuell aber bedürfen sie unterstützendem Material und Geräten. Die Hauptkomponenten repräsentieren häufig charakteristische Eigenschaften oder Reagenzien, die nur vom Hersteller fertig hergestellt oder geliefert werden.¹

¹aus: AOAC Research Institute. Test Kit performance Testing Program. Policies and Procedures. Arlington, VA, USA (1994)

Abbildung 19: Begriffsdefinition Test-Kit

Eine allgemeine Definition und Vorgehensweise bei der Validierung ist leider noch nicht gegeben. Auch hier besteht ein großer Bedarf, eine Vereinheitlichung zu erzielen, vor allem auf dem Sektor der Screeningmethoden.

Validierung

- Produkt- und zweckspezifische Durchführung.
- Validierung kann nicht durch Abhaken von Resultaten mittels einer Checkliste erfolgen.
- Für Ergebnisse aus validierten Methoden sind Art und Häufigkeit der notwendigen Kontrollen festzulegen mit dem Ziel, den Gesamtanalyseaufwand zu minimieren, aber dennoch die erforderlichen Ergebnisse zu erzielen.

aus: Kromidas, S. et al.:
 Methodvalidierung im analytischen Labor.
 Nachr.Chem.Lab. 43(6) (1995) 669-676.

Abbildung 20: Aspekte der Validierung

Tabelle 3: Charakteristika der Test-Kits für TNT

Parameter	Ohmicron RaPID Assay	SDI/Merck D Tech	BioGenes TNT-ELISA	Immunolab TNT-Test
Konzentrationsbereich der Standardkurve	0,07-5 µg/l	5-50 µg/l	0,01-1000 µg/l	0,4-100 µg/l
Messbereich für Böden*	0,07-5 mg/kg	0,5-5 mg/kg	0,1-10 mg/kg**	0,4-10 mg/kg**
Bestimmungen/Test-Kit	80	4	40	40
Probenverdünnung	1:1000	1:300**	1:1000 [#]	1:1000 [#]
Extraktions-Kit	ja	ja	nein	nein
Lösungsmittel	Methanol	Aceton	Methanol	Methanol
Bestimmung der Probe	einfach	einfach	doppelt	doppelt
Kosten/Probe	ca. 30 DM	ca. 60 DM	ca. 14 DM***	ca. 20 DM***

*: Angabe als TNT-Äquivalente; **: geschätzt; ***: ohne Extraktion

#: da kein Probenextraktionskit, ist dies die Probenverdünnung in der Durchführung

Die Tabellen zeigen einige Charakteristika der Test-Kits für TNT (Tabelle 3) und PAK (Tabelle 4). Zu beachten ist hier vor allem, dass der Konzentrationsbereich

12. Osnabrücker Umweltgespräch „Schnelle Vor-Ort-Analytik“

der Standardkurve im unteren bis mittleren ppb-Bereich ist. Dies entspricht auch dem Messbereich für die Matrix Wasser.

Tabelle 4: Charakteristika der Test-Kits für PAK

Parameter	Ohmicron (SDI) PaPID Assay	SDI/Merck Dtech	EnSys (SDI) Ris©Soil Test
Konzentration der Standardkurve	0,7-50 µg/l	8-250 µg/l	0,1-100 µg/l**
Messbereich für Boden	0,07-5 mg/kg	0,6-25 mg/kg	0,1; 1; 100 mg/kg; u.a.
Bestimmungen/Test-Kit	80	4	20
Probenverdünnung	1:100	1:250**	1:1040***
Extraktions-Kit	ja	ja	ja
Lösungsmittel	Methanol	Isopropanol	Methanol
Bestimmung der Probe	einfach	einfach	doppelt [#]
Kosten/Probe	ca. 60 DM	ca. 60 DM	ca. 67 DM

*: Angabe als PAK-Äquivalente; **: geschätzt; ***: auf 1 ppm bezogen

#: Bestimmung der Probe in 2 Verdünnungen

Die Test-Kits sind auf alle Fälle gut geeignet für den Altlastenbereich. Die Bestimmung im Boden ist in den meisten Fällen um den Faktor 1000 vom Konzentrationsbereich der Standardkurve verschieden: Dies kommt durch die Probenvorbereitung und die Verdünnungsschritte der Bodenprobenextrakte zustande. Dieser Messbereich im Boden orientiert sich an Sanierungsleitwerten oder Grenzwerten (soweit sie vorhanden sind). Es ist durchaus möglich, die Test-Kits auch auf andere Messbereiche einzustellen.

Wichtig zu erwähnen ist hier außerdem, dass diese Test-Kits nicht billig sind. Daher sind hier die Preise pro Probe aufgeführt. Wenn man bedenkt, dass die Preise für die konventionelle Analytik für PAK sehr viel billiger wurden in den letzten Jahren, dann stellt sich hierbei schon die Frage, inwieweit die Immunoanalytik mit diesen Test-Kits billiger ist.

Von den amerikanischen Herstellern gibt es auch die Probennahme- und Probenextraktions-Test-Kits, die auf die eigentlichen Immunoassay Test-Kits abgestimmt sind. Die Preise in den Tabellen beinhalten auch diese Vorbereitung der Probe. Von den deutschen Herstellern BioGenes und Immunolab gibt es diese Test-Kits zur Probenvorbereitung leider nicht. Hier wurde in unserem Projekt eine konventionelle Probenvorbereitung eingesetzt, wie sie auch für die HPLC verwandt wird.

Die Probenvorbereitung ist allerdings ein äußerst wichtiger Schritt und normalerweise dürfte man einen Test-Kit ohne Probenvorbereitung nicht validieren. Hier besteht noch großer FuE-Bedarf, auch für die konventionelle Analytik. Hier sind die Fehler sicher am größten. Es macht wenig Sinn, wenn man eine Analytik mit 5-10% Fehler einer Probennahme mit 100 und mehr % anschließt. Auch die Extraktion ist hierbei zu berücksichtigen, die gerade bei Schnelltests auch an die Geschwindigkeit der Analysenmethode angepasst werden muss. Es macht wenig Sinn, wenn man Stunden extrahieren muss. Damit verliert der Schnelltest seinen Vorteil, nämlich der Möglichkeit zur schnellen Vor-Ort-Entscheidung und Handlung.

Schnell-Detektion von Mineralölkohlenwasserstoffen in Böden und Gewässern

Peter Wagner

Optimare GmbH, Wilhelmshaven

Die Universität Erlangen-Nürnberg und die Optimare GmbH entwickeln ein Messsystem zur schnellen Detektion von Mineralölkontaminationen in Böden und Gewässern, welches auf dem Prinzip der laserinduzierten Fluoreszenz (LIF) beruht. Die Entwicklung verläuft im Rahmen des Gemeinschaftsprojektes "OPTIMOS" (Oil Pollution Transportable Independent Monitoring System) unter Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

Zielsetzung

**Bereitstellung eines portablen Messsystems
zum schnellen vor Ort Nachweis hinsichtlich
PAK und MKW Kontamination**

**Verlässliche Aussagen hinsichtlich der Überschreitung
der vorgegebenen Grenzwerte (Eingrenzung)**

Unterstützung in der Risikoabschätzung

Reduzierung notwendiger Laboranalysen (FCKW)

Abbildung 21: Zielsetzung der Entwicklungsarbeiten

Ziel des Projektes "OPTIMOS" ist die Bereitstellung eines portablen Messsystems zum schnellen Vor-Ort-Nachweis von PAK- und MKW-Kontaminationen und zur Unterstützung der Risikoabschätzung von Mineralölkontaminationen in Böden und Gewässern. Mit Hilfe des Systems sollen verlässliche Aussagen hinsichtlich der Überschreitung vorgegebener Grenzwerte getroffen werden können. Durch die

Vor-Ort-Analyse wird eine Reduzierung aufwendiger Laboranalysen möglich, was einen Zeit- und Kostenvorteil gegenüber den konventionellen Methoden bietet. Konventionelle Methoden können durch den teilweise erforderlichen Einsatz von FCKW zudem umweltschädigend wirken.

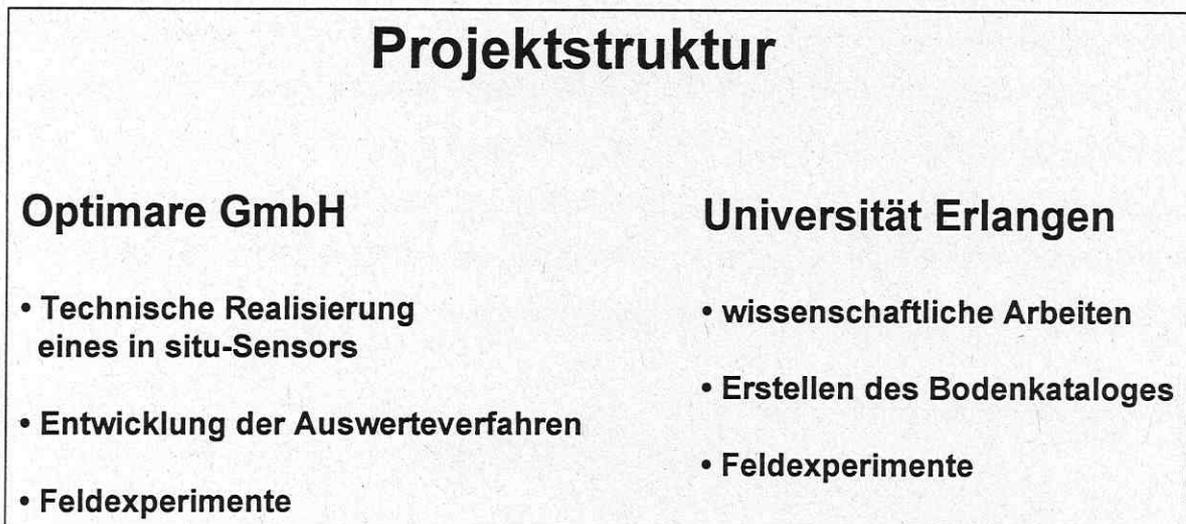


Abbildung 22: Strukturierung der Projektarbeit

Für das Erreichen der genannten Ziele wurden die Projektarbeiten zunächst zweigeteilt:

- Die wissenschaftlichen Arbeiten, welche die Erarbeitung und Weiterentwicklung von Grundlagen zur LIF-Analytik von Bodenkontaminationen durch Mineralöle umfassen, erfolgen durch die Arbeitsgruppe von Prof.-Dr. H.-G. Löhmannsröben (Universität Erlangen-Nürnberg).
- Die technischen Projektarbeiten werden von der Optimare GmbH (Wilhelmshaven) durchgeführt, deren bisheriges Hauptarbeitsgebiet in der technischen Betreuung und der Neu- und Weiterentwicklung von Umweltsensoren und Sensornetzwerken überwiegend für die flugzeuggestützte Fernerkundung von Ölverschmutzungen auf Wasser liegt.

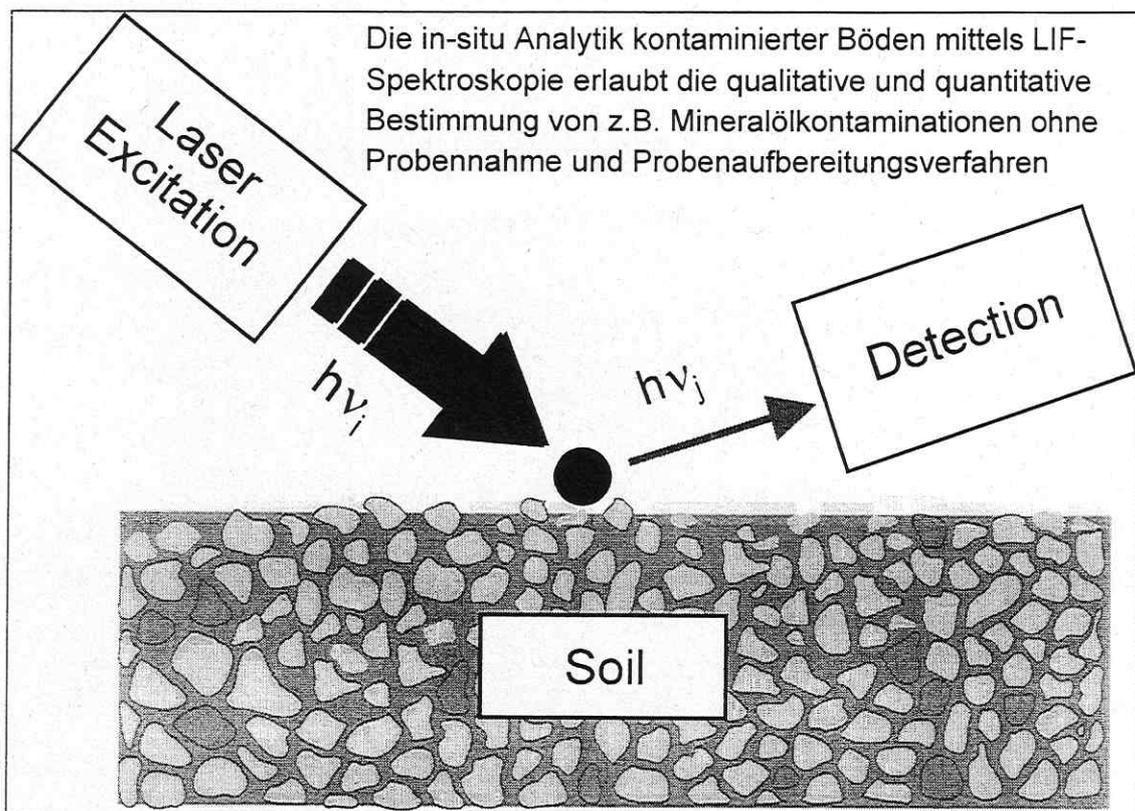


Abbildung 23: Anwendung der LIF zur in situ Untersuchung kontaminierter Böden

Die LIF-Spektroskopie ist ein Verfahren, das bei der Bestimmung von BTEX-Aromaten (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol), polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) vor Ort erfolgen kann und üblicherweise weder Probenahme noch Probenvorbereitung erfordert.

Die Intensität des vom Kontaminanten emittierten Fluoreszenzlichts liefert über geeignete Kalibrierfunktionen Konzentrationsangaben zur Mineralölkontamination, wie Abbildung 24 anhand von Diesel dokumentiert. Aus der Form des Fluoreszenzspektrums gelingt eine Zuordnung zu Leitkontaminationen (Rohöl, Kerosin, Diesel, Gasöl...). Zusätzliche Informationen lassen sich durch die Variation der Anregungswellenlänge und die parallele Messung des Fluoreszenz-Abklingverhaltens erzielen. Das Abklingverhalten beinhaltet darüberhinaus Informationen zur chemischen Zusammensetzung des Kontaminanten und dient zur Unterdrückung von Hintergrundsignalen, z. B. der Fluoreszenz natürlicher Huminstoffe in Boden und Wasser.

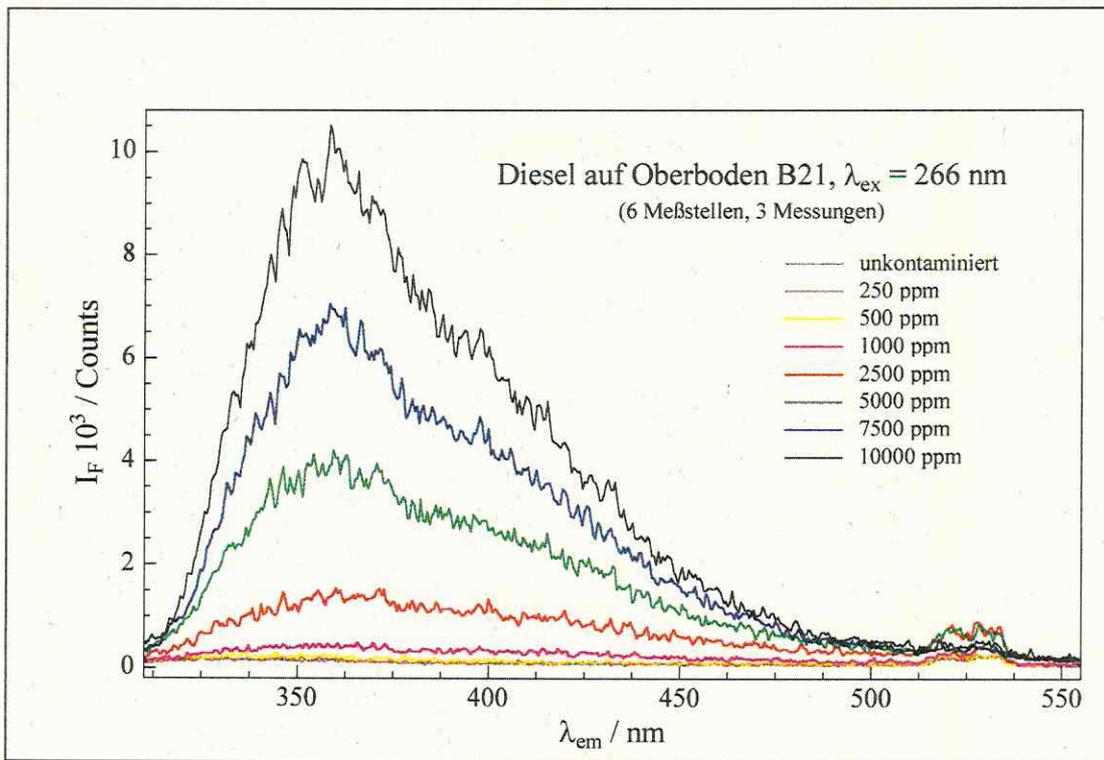


Abbildung 24: Kalibrierung der LIF-Spektren von Diesel

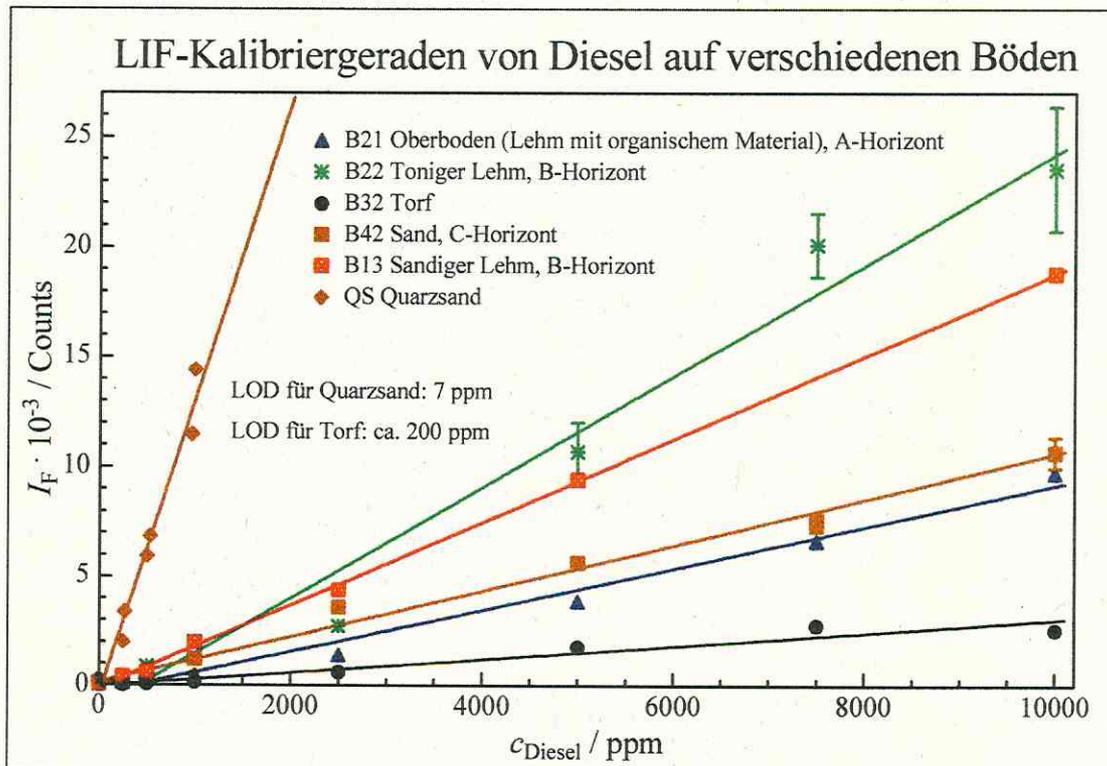


Abbildung 25: Kalibriergeraden von Dieselöl auf verschiedenen Böden

Da die Matrix Boden das Fluoreszenzverhalten entscheidend mitbestimmt, wird dessen Einfluss auf das Messsignal in die Untersuchungen einbezogen. Hierbei ist insbesondere das Reflexionsvermögen des Bodens eine ausschlaggebende Größe (vgl. Abbildung 26). Die Kalibrierfunktionen werden in geeigneter Weise auf die Reflektivität normiert, so dass Aussagen über die Art und Konzentration eines Kontaminanten in Verbindung mit der jeweiligen Bodenmatrix getroffen werden können.

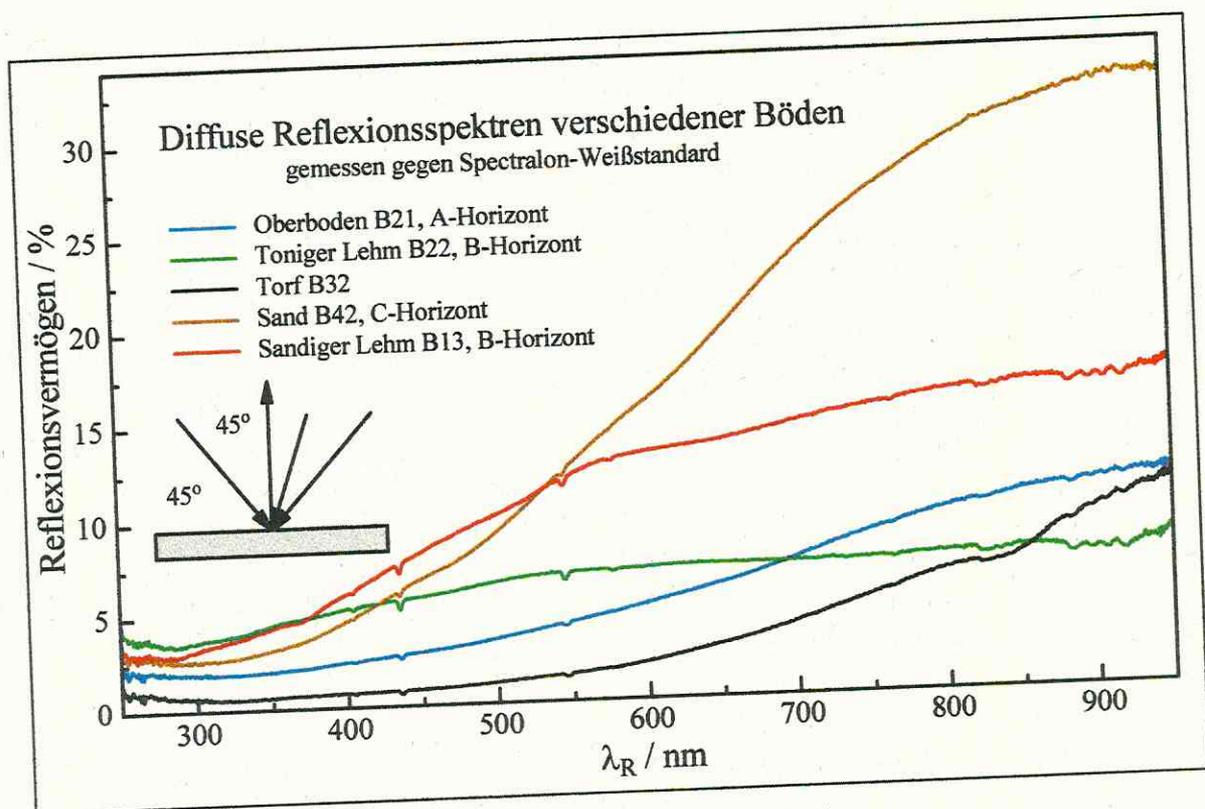


Abbildung 26: Diffuse Reflexionsspektren verschiedener Böden

Hinsichtlich der technischen Realisierung des Sensors wurden die Systemkomponenten in einer Definitions- und Spezifikationsphase wie folgt festgelegt:

- Die Fluoreszenzanregung geschieht mittels diodengepumpten Nd:YAG-Laser und nachgeschaltetem Multiwellenlängen-Farbstofflaser.
- Für die Fluoreszenzdetektion wird ein intensivierter CCD-Detektor mit Monochromator bereitgestellt.

- Fluoreszenzanregung- und detektion erfolgen über einen speziellen Sondenkopf mit Lichtwellenleiteranschluss. Der Sondenkopf wird über ein Sondenrohr an den gewünschten Messort geführt.

Technische Realisierung des in situ -Sensors

- Definition und Spezifikation der Systemkomponenten
 - **Anregung**
 - Pumplaser
 - Farbstofflaser
 - **Detektion**
 - Lichtwellenleiter
 - Detektorsystem
 - Sondenkopf
- Entwicklungen
 - **Multiwellenlängenfarbstofflaser**
 - **Sondenkopf**
 - **Systemsteuerung**
 - Elektronik
 - Software
 - **Auswerteverfahren**

Abbildung 27: Technische Realisierung des in situ Sensors

Die Entwicklung des Multiwellenlängen-Farbstofflasers erfolgte innerhalb des Projektes. Der Wechsel der sechs wählbaren Wellenlängen geschieht über einen Drehteller, der mit Spiegeln und Farbstoffküvetten bestückt ist. Auf einem Linearverschiebetisch sind zusätzlich Verdopplerkristalle für die Frequenzverdopplung angebracht, welche aus sichtbarem Licht die gewünschten Laserlinien im ultravioletten Spektralbereich erzeugen. Die Linearbewegung des Verschiebetisches und die Drehung des Küvettentellers erfolgen über eine elektronische Steuerung innerhalb einer Sekunde.

Der schematische Aufbau des entwickelten Sensors ist in Abbildung 28 wiedergegeben.

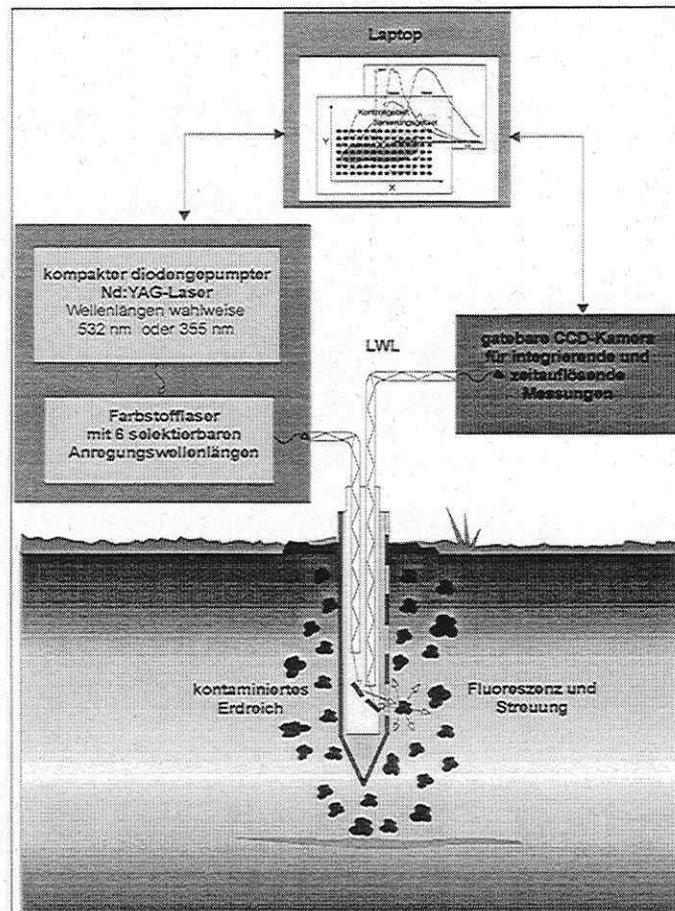


Abbildung 28: Funktionsprinzip des „OPTIMOS“

Die weitere technische Realisierung des Sensors umfasst die Komplettierung und Weiterentwicklung vorhandener Steuerelektronik und Steuersoftware sowie die Entwicklung einer Auswertesoftware, welche auf die Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen der Universität Erlangen aufbaut. Für Systemtests werden in gemeinsamer Arbeit Feldversuche durchgeführt, denen eine Industrialisierung und Markteinführung des Sensors folgt.

Terminsituation und Ausblick

weitere Arbeiten:

- Komplettierung der Steuerungssoftware
- Feldversuche
- Auswertesoftware
- Industrialisierung, Markteinführung

Abbildung 29: Schwerpunkte der weiteren Entwicklungsarbeit

Das Infrarot Fernerkundungssystem RAPID™

Dr. Stefan Morley

Bruker Saxonia Analytik GmbH, Leipzig

Ziel

Der Infrarot Sensor RAPID™ arbeitet auf der Grundlage der Fourier Transformations Infrarot Spektroskopie (FT-IR). Dieses mobile FT-IR Spektrometer ist in der Lage Emissions- und Absorptionsspektren von sich entfernt befindenden Zielstoffen passiv, d.h. nur durch die Messung der Eigenstrahlung von Hintergrund und Zielstoff aufzunehmen. Auf diese Weise erhält man die Möglichkeit mittels Multi-komponentenanalyse von FT-IR Spektren Schadgaswolken zu analysieren, ohne dass das beobachtete Gebiet betreten werden muss.

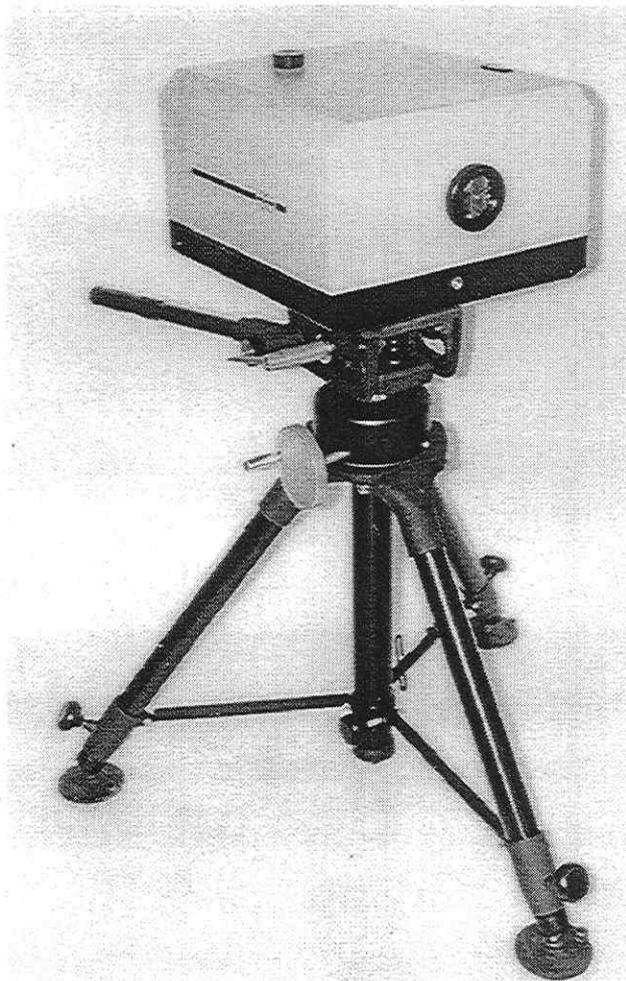


Abbildung 30: Der Infrarot Sensor RAPID™

Das primäre Anwendungsziel des RAPID™ ist es also einen Zielstoff zu detektieren, zu identifizieren und Angaben über die Konzentration (s.u.) und den Ort der Chemikalie zu liefern. Dies muss in entsprechend kurzer Zeit geschehen, um das Risiko einer Kontamination von Mensch und Umwelt zu minimieren. Aufgrund seines modularen Designs ist das RAPID™ in der Lage in einer Vielzahl von Szenarien eingesetzt zu werden:

- Zivilschutz,
- Umwelt-Monitoring,
- industrielle Überwachung,
- industrielle Prozeßkontrolle,
- Detektion chemischer Kampfstoffe.

Technik

Das Gerät misst Infrarot (IR) Emissionsspektren und identifiziert Schadgase anhand ihres spektralen Fingerabdrucks. Nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz strahlt jede Art von Materie bei einer Temperatur T elektromagnetische Strahlung mit einer spektralen Strahlungsleistungsdichte L bei einer Frequenz $\tilde{\nu}$ aus.

$$L_{\tilde{\nu}} = \varepsilon(\tilde{\nu}) \cdot \frac{2hc^2\tilde{\nu}^3}{\exp(hc\tilde{\nu} / kT) - 1}$$

$L_{\tilde{\nu}}$: spektrale Strahlungsleistungsdichte

h : Planck'sche Konstante

c : Lichtgeschwindigkeit

k : Boltzmann Konstante

T : Temperatur (in K)

$\varepsilon(\tilde{\nu})$: Emissionsgrad

Weil der Emissionsgrad $\varepsilon(\tilde{\nu})$ für Festkörper über einen weiten Spektralbereich nahezu konstant und bei Gasen den spektralen Fingerabdruck in Form einzelner Linien darstellt, ist es nun möglich, eine Zielsubstanz anhand genau dieses Fingerabdrucks zu identifizieren.

Aufgrund der Tatsache, dass das Zielgas (1) wärmer oder (2) kälter als der spektrale Hintergrund sein kann, zeigen die gemessenen Spektren nun einen (1)

Emissions- oder (2) Absorptionscharakter. Aufgrund des Messprinzips hängt die Detektionswahrscheinlichkeit P_d insgesamt aber nicht nur von der Konzentration C des Gases ab, sondern auch von:

- der optischen Weglänge L der Zielsubstanz sowie
- der Temperaturdifferenz zwischen Gas und Hintergrund ΔT .

$$P_d \propto C \cdot L \cdot \Delta T$$

Die Auswertung der Spektren erfolgt schrittweise. Zunächst wird die effektive die Intensität des gemessenen Spektrums in Äquivalenttemperaturen T_{eff} umgerechnet entsprechend:

$$T_{eff} = \frac{hc\tilde{\nu}}{k \ln(2hc^2\tilde{\nu}^3 / L_{\tilde{\nu}} + 1)}$$

Dabei wird eine interne Schwarzkörperreferenz zur Absolutkalibration benutzt. T_{eff} stellt nun die Ausgangsgröße für die weitere Identifikation dar. Diese erfolgt mittels komplexem Vergleich mit zielsubstanzspezifischen Bibliotheken. Diese Bibliotheken werden in einem standardisiertem Aufbau ermittelt und können dann vom Nutzer in die Auswertesoftware nach Bedarf eingeladen werden.

Die Quantifizierung der Einzelsubstanzen erfolgt in zwei Schritten. Der erste Schritt ist die einmalige Aufnahme einer hinreichend großen Zahl von Messungen in einem Aufbau wie er durch das Standardexperiment gegeben ist. Es werden hier die verschiedenen Einzelsubstanzen in unterschiedlichen Konzentrationen bei unterschiedlichen Temperaturkombinationen Gas-Hintergrund vermessen. Die daraus folgenden Umrechnungsfaktoren zwischen effektiver Gastemperatur und dem Produkt $\Delta T_{eff} \cdot c \cdot l$ werden in der Bibliothek bereitgestellt und bei den Messungen als Umrechnungsparameter genutzt.

Beispiel

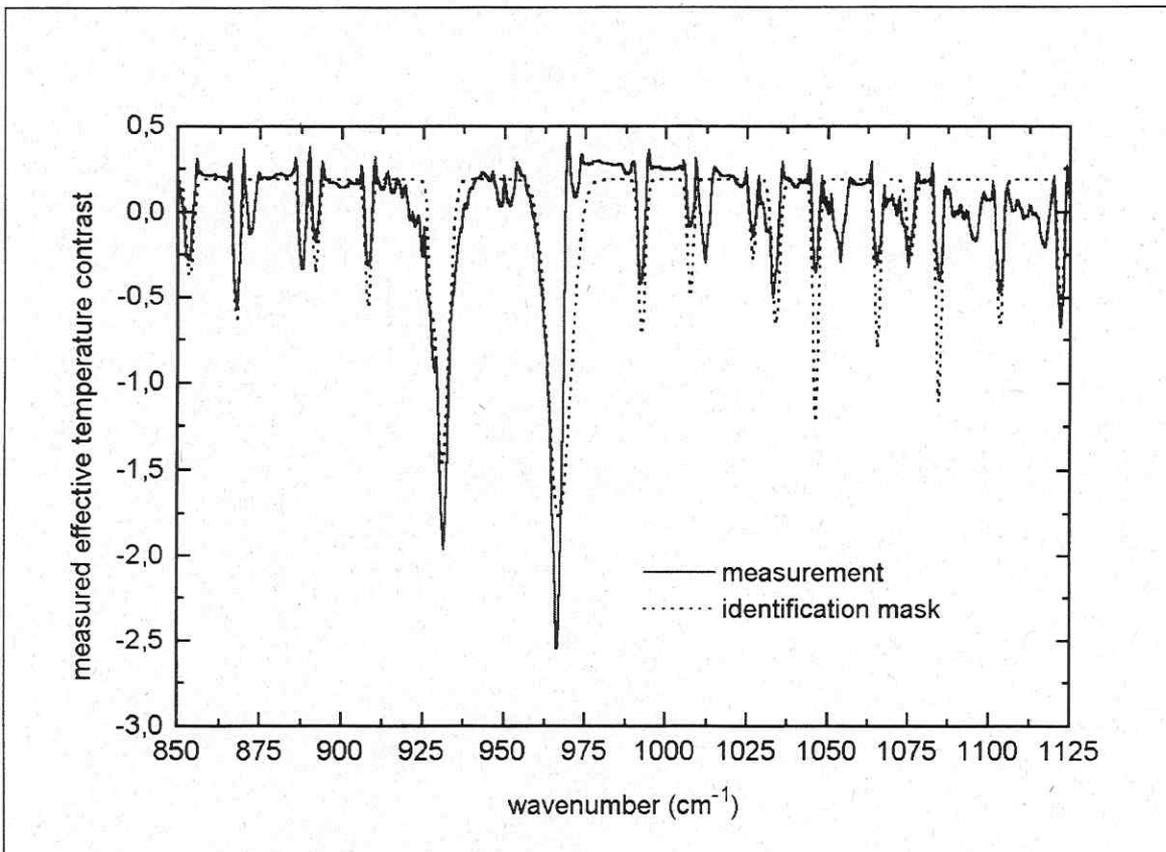


Abbildung 31: Vergleich von Messung und Auswertung an Beispiel Ammoniak

Im Beispiel war das ausgebrachte Zielgas Ammoniak. Die Temperaturdifferenz zwischen spektralem Hintergrund und dem Zielgas wurde auf 10K eingestellt. Die daraus resultierende effektive Temperaturdifferenz zwischen der effektiven Gastemperatur und der Hintergrundtemperatur beträgt aber lediglich 0.5K. Dies ist bedingt durch die Tatsache, dass zur effektiven Temperaturdifferenz nicht nur die absolute Temperaturdifferenz beiträgt, sondern eben auch die Konzentration des Gases und dessen Ausdehnung. Nichtsdestoweniger zeigt das Gerät nicht nur das Vorhandensein der Zielspezies in seinem Gesichtsfeld an, sondern auch seine Fähigkeit geringe Konzentrationen wenig ausgedehnter Schadgase bei geringem Temperaturkontrast nachzuweisen. An dieser Stelle sei noch einmal darauf verwiesen, dass Ammoniak ein mindestens 10fach schlechterer Infrarot Absorber (und damit auch Emitter) ist als das oft als Testsubstanz herangezogenen Schwefelhexafluorid

Technische Parameter

Tabelle 5: Technische Parameter des RAPID™

Parameter	Wert
Gesichtsfeld	30 mrad
Detektivität, Detektor Typ	$4 \cdot 10^{10}$ cm Hz ^{1/2} / W, Schmalband MCT, LN ₂ gekühlt, Closed Cycle Version optional
Detektor Fläche	0.01 cm ²
Etendue	0.0082 sr cm ²
Spektralbereich (Schmalband MCT)	700 - 1300 cm ⁻¹
Integrationszeit	0.22 s
Auflösung	1, 2, 4 cm ⁻¹
Leistungsaufnahme (Spektrometer)	ca. 40 W
Gewicht (Spektrometer)	ca. 19 kg
Abmessungen (Spektrometer):	400 x 370 x 260 mm ³
Versorgung	12- 36 V
Betriebsdauer	> 3 h, mit Bleiakкумулятор 24 V, 7AH

Mikrosysteme und -komponenten für die Feldanalytik

J. Schiewe, W. Ehrfeld, H. Löwe, Th. Richter

Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH

Der ständig wachsende Zeit- und Kostendruck im Bereich der Umweltanalytik, sowie die wachsende Anzahl von Laborproben fordern die Entwicklung neuer Analysetechniken, die es erlauben, direkt vor Ort schnell und kostengünstig quantitative oder semiquantitative Aussagen über Schadstoffgehalte in Boden, festen Abfällen, Wasser oder Luft zu machen. Geräte und Hilfsmittel für die Vor-Ort-Analytik (Feldanalytik) müssen demnach portabel und robust sein und bei geringem Energie- und Chemikalienverbrauch schnell das geforderte Analyseergebnis anzeigen.

Diese Forderungen bilden gleichzeitig die Motivation für den Einsatz von miniaturisierten Analysesystemen oder Systemkomponenten, die kostengünstig durch replikative Mikrostrukturierungsverfahren aus einer Reihe von verschiedenen Materialien hergestellt werden können. Solche Mikrostrukturen zeichnen sich durch kleine Volumina, kurze Wege und ein großes Oberfläche-Volumen-Verhältnis aus, was für chemische Verfahrensschritte, wie Mischen und Extraktion, Vorteile bringt. Beispiele für am Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH bereits realisierte Mikrosystemkomponenten für analytische Grundoperationen werden im folgenden kurz vorgestellt.

Alle nasschemischen Analyseverfahren basieren auf dem Mischen von Probe und Reagenz mit anschließender Reaktion zu einem einfach nachzuweisenden Derivat. Automatische Analysatoren arbeiten dabei nach dem Durchflussprinzip. Durch konsequente Miniaturisierung von Probenvorbereitungsschritten, Strukturen für chemische Reaktion und Detektion und Fluidtransportsystemen, können Fließanalysensysteme im Scheckkartenformat aufgebaut werden.

Die Anreicherung von Schadstoffen durch Extraktion in flüssiger Phase ist ein häufig angewandter Prozess zur Probenvorbereitung. Hohe Stoffaustauschraten können in einem Flüssig-Flüssig-Mikroextraktor, der nach dem Gegenstromprinzip arbeitet, erzielt werden (Abb. 32). Auf einer Länge von 16 cm werden zwei nicht-mischbare Flüssigkeiten in 50 µm breiten, mäanderförmig gewundenen Kanälen

aneinander vorbeigeführt, ohne sich zu vermischen [1]. Die unterbrochene Struktur der Kanaltrennwand ermöglicht eine große Kontaktfläche beider Flüssigkeiten und somit einen sehr intensiven Stoffaustausch.

Eine sehr schnelle und intensive Mischung von Flüssigkeiten wird in einem Mikromischer erreicht, der das Herzstück eines miniaturisierten Fließanalyse-Systems bildet. Der Mischvorgang im Mikromischer erfolgt durch Multilamination der Stoffe ohne zusätzlichen Energieeintrag (Abb. 33).

Das eigentliche Mischen erfolgt durch Diffusion, das aufgrund des sehr kurzen Stofftransportwegs von 10 bis 100 μm in der Zeit einiger Millisekunden abgeschlossen ist [2]. Der Mikromischer eignet sich daneben auch zur Absorption von Gasen in Flüssigkeiten, beispielsweise zur Anreicherung gasförmiger Proben [3].

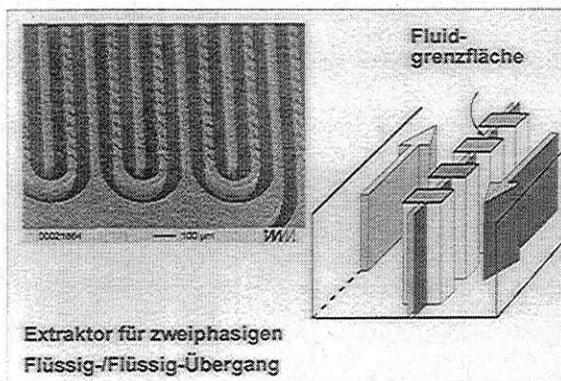


Abbildung 32: Mikroextraktor

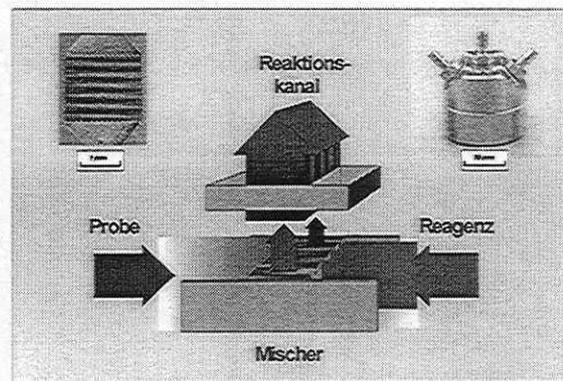


Abbildung 33: Mikromischer

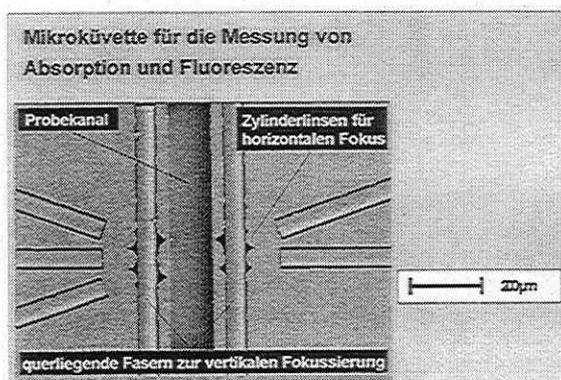


Abbildung 34: Mikrooptische Küvette



Abbildung 35: Mikropumpe

Eine wesentliche Komponente von Analysesystemen ist die Detektion. Abbildung 34 zeigt ein mikrooptisches Detektionssystem bestehend aus Mikroküvette und Glasfaserpositioniereinrichtung für Absorptions- und

Fluoreszenzmessungen. Dabei wird das über eine Glasfaser eingekoppelte Licht durch in die Struktur integrierte Zylinderlinsen horizontal und durch querliegende Glasfasern vertikal auf den Probekanal fokussiert [4]. Nach dem gleichen Prinzip ist eine Mikroküvette aus Quarz auch für UV-Aufschlüsse von Proben im Mikromaßstab prinzipiell einsetzbar.

Die Integration von Mikropumpen in Analysesysteme ermöglicht die exakte Dosierung kleiner Probe- oder Reagenzmengen. Die in Abbildung 35 dargestellte Mikromembranpumpe kann sowohl Flüssigkeiten, als auch Gase fördern. Durchflussraten bis zu 400 µl/min werden für flüssige Medien erreicht. Der Förderhub wird durch einen Piezoaktor auf die Membran übertragen und durch Rechteckspannungspulse gesteuert. Die Mikropumpe misst lediglich 12 x 12 x 3 mm³ und wird aus Kunststoffteilen, die kleb- und dichtstofffrei miteinander verbunden werden, hergestellt [1,5].

Mikrostrukturen können aus einer Reihe von Materialien hergestellt werden. Die Bandbreite reicht von Glas, Quarz und Keramik über Metalle, Legierungen bis hin zu Polymermaterialien. Dazu bedient man sich unterschiedlicher Strukturierungsmethoden. Die wichtigsten seien im folgenden kurz genannt. Das LIGA-Verfahren, eine Abfolge von Lithographie, Galvanoformung und Abformung [6] ermöglicht die kosteneffiziente Herstellung von Mikrostrukturen in Polymer-, Metall- und Keramikmaterialien. Der lithographische Schritt dient der Erzeugung der Struktur in einer Resistschicht, die nach einem Entwicklungsschritt galvanisch abgeformt wird. So entsteht ein metallisches Negativ der ursprünglichen Struktur, das entweder das gewünschte Produkt ist oder als Werkzeug für die Herstellung von Polymer-, Metall- oder Keramikteilen in großen Stückzahlen dient.

Mittels Mikrofunkenerosion können die galvanisch hergestellten Strukturen auch in leitfähigen Materialien abgeformt werden, die sich durch besondere Eigenschaften auszeichnen, wie z.B die sehr harten Materialien Titanborid und Spezialstähle [7,8]. Silizium, Quarz und Glas lassen sich durch Ätzverfahren mikrostrukturieren. Strukturen in Foturan-Glas werden beispielsweise durch UV-Lithographie und anschließendes nasschemisches Ätzen erzeugt [9]. Mit Hilfe der genannten Techniken können Mikrostrukturen für die verschiedenen analytischen Grundoperationen in den jeweils geeigneten Materialien realisiert werden.

Ein kostengünstiges, miniaturisiertes Fließanalysesystem für die Feldanalytik basierend auf Komponenten für Probenaufschluss, Extraktion, chemische Umsetzung und Detektion kann durch Integration der Einzelstrukturen zu einem kompakten System aufgebaut werden. Abbildung 36 zeigt schematisch einen Multischichtaufbau, in den Strukturen zur Probenauftragung, Mikromischer, Reaktionsstrecke, optische Detektion und Mikropumpe integriert sind. Fließanalysesysteme mit optischer Detektion sind beispielsweise anwendbar zur quantitativen Bestimmung von Nitrit, Nitrat oder Ammonium durch Farbreaktion mit geeigneten Reagenzien. Dazu wird die Probe je nach Anwendung in ein oder mehreren Schritten mit Reagenzien gemischt und die Absorption der sich bildenden Farblösung gemessen. Im Fall der Ammoniumbestimmung ist ein Mikro-Gasdiffusionsmodul in das Fließsystem zu integrieren.

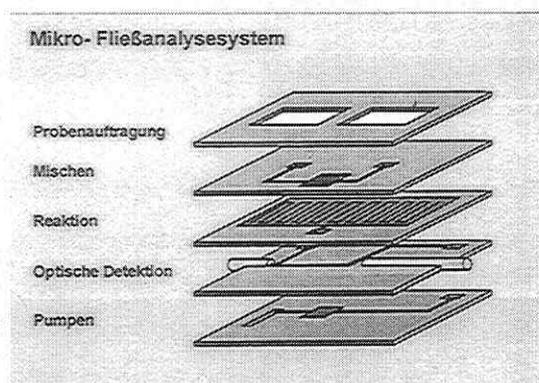


Abbildung 36: Schematischer Aufbau eines miniaturisierten Fließanalysesystems

Konzeptionell ist es von Vorteil, ein solches System modular aufzubauen, wobei Teile, die direkt mit der Probe in Kontakt kommen, in einen Einwegchip integriert werden, um Kontaminationen oder aufwendiges Spülen der Fluidkanäle zu vermeiden. Ein solcher Chip kann dann in ein kompaktes Basissystem eingesetzt werden, das Pumpe, Detektor und Steuerelektronik enthält.

Der Vorteil eines miniaturisierten Fließanalysesystems für die Feldanalytik ist insbesondere darin zu sehen, dass parallel mehrere Analysen an einer Probe auf einem Chip ausgeführt werden können und damit Analysezeit und -kosten verringert werden. Eine mögliche Anwendung hierfür ist beispielsweise die parallele Bestimmung der elektrochemisch aktiven und der kompletten

Schwermetallelementspur. Dafür wird die Probe auf dem Chip in aliquote Teile geteilt und einmal ohne und einmal mit UV-Aufschluss der elektrochemischen Detektion zugeführt. Eine weitere denkbare Anwendungsmöglichkeit nach diesem Prinzip ist das parallele Screening verschiedener Pestizide mit immunochemischer Detektion.

Literatur

- [1] W. Ehrfeld, K. Golbig, V. Hessel, R. Konrad, H. Löwe, Th. Richter
Fabrication of components and systems for chemical and biological microreactors In: *Microreaction Technology, Proceedings of the First International Conference on Microreaction Technology*, Ed.: W. Ehrfeld, Springer-Verlag, Berlin (1997), p. 72 - 90.
- [2] W. Ehrfeld, K. Golbig, V. Hessel, H. Löwe, Th. Richter
Characterization of mixing in micromixers by a test reaction: Single mixing units and mixer arrays
Ind. Eng. Chem. Res., Accepted for publication (1998).
- [3] V. Hessel, W. Ehrfeld, K. Golbig, V. Haverkamp, H. Löwe, Th. Richter
Gas / liquid dispersion processes in micromixers: The hexagon flow
In: *Process Miniaturization: 2nd International Conference on Microreaction Technology*, March 9-12 1998, New Orleans, La., Topical Conference Preprints, The American Institute of Chemical Engineers (1998), p. 259 - 266.
- [4] M. Gerner, T. Paatzsch, L. Weber, H. Schiff, I. Smaglinski, H.-D. Bauer, M. Abraham, W. Ehrfeld
Micro-optical Components for Fiber and Integrated Optics Realized by the LIGA Technique
Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 95)/ Hrsg. v. IEEE (1995) 328-333.
- [5] K.-P. Kämper, W. Ehrfeld, J. Döpfer, V. Hessel, H. Lehr, H. Löwe, Th. Richter
Microfluidic components for chemical and biological microreactors
Proc. of MEMS-97, Jan. 26th - 30th 1997, Nagoya, Japan; p. 338 - 343 (1997).
- [6] W. Ehrfeld, H. Lehr
Deep X-Ray Lithography for the Production of Three-Dimensional Microstructures from Metals, Polymers and Ceramics
Radiat. Phys. Chem. 45, 3 (1995) 349-365.
- [7] W. Ehrfeld, H. Lehr, F. Michel, A. Wolf
Micro Electro Discharge Machining as a Technology in Micromachining In: Proc. of SPIE's 1996 Symp. on Micromachining & Microfabrication Process, Vol. 2879 (1996) 332-337.
- [8] Th. Richter, W. Ehrfeld, A. Wolf, H.-P. Gruber, O. Wörz
Fabrication of microreactor components by electro discharge machining
In: *Microreaction Technology, Proceedings of the First International Conference on Microreaction Technology*, Ed.: W. Ehrfeld, Springer-Verlag, Berlin (1997), p. 158 - 168.
- [9] T. R. Dietrich, W. Ehrfeld, M. Lacher, M. Krämer, B. Speit
Fabrication technologies for microsystems utilizing photoetchable glass
Microelectronic Eng. 30 (1996) 349-365.

Zusammenfassung und Ergebnisse der Diskussion

Das Ziel der Veranstaltung bestand darin, einen Meinungsaustausch unter Praktikern und Sachverständigen der schnellen Vor-Ort-Analytik durchzuführen. Die angesprochenen Methoden sollten nicht nur für die Altlastenproblematik sondern auch für die Umweltvorsorgekontrolle, für den produktintegrierten Umweltschutz bis hin zur Prozesskontrolle geeignet sein.

Die einleitend gehaltenen Fachvorträge sollten dabei nur exemplarisch auf die Anforderungen, Notwendigkeit und Zielsetzung der Vor-Ort-Analytik hinweisen. Schon aus Zeitgründen war es nicht möglich, über alle möglichen oder bereits für die Vor-Ort-Analytik verfügbaren Analysenverfahren zu berichten.

Vielmehr bestand die Absicht darin, anhand ausgewählter Methoden den derzeitigen Stand der mobilen Vor-Ort-Analytik in Bezug auf Praxistauglichkeit und den daraus resultierenden Forschungsbedarf kritisch zu bewerten. Praxistauglichkeit meint nicht nur den apparativen bzw. wissenschaftlichen Entwicklungsstand der Methodik im Allgemeinen, sondern zielt auch auf die Fragen, wie bspw. Analysenkosten, Verfügbarkeit komplexer Problemlösungen, Anwendbarkeit der Methoden durch fachfremdes Personal oder die Akzeptanz der Vor-Ort-Methoden bei Auftraggebern, Auftragnehmern und Behörden, denn immer noch behindert eine Überschätzung der Repräsentanz von wenigen Laboruntersuchungen mit hoher Präzision die effektive Nutzung von Vor-Ort-Methoden.

Nach den einleitenden Vorträge von Dr. Wahmhoff (DBU) und Dr. Lay (DBU) zu den zukünftigen Förderschwerpunkten der DBU und den Erwartungshaltungen der Stiftung an die Ergebnisse der Förderung lag der Schwerpunkt des Meinungsaustausches auch nicht bei Erörterungen über einzelne methodische Neuentwicklungen, sondern auf Fragen, welche Schritte erforderlich sind, um die Verfahren der mobilen Vor-Ort-Analytik in die Umweltanalytik einzubinden, ferner welcher Forschungs-, Entwicklungs- und Förderbedarf dafür absehbar ist. Nur eine analytische Gesamtproblemlösung als verkaufsfähiges Produkt, bestehend aus Probeaufbereitung, Analysenhard- und Software und Ergebnisinterpretation, wurde als zielführend erachtet.

Der unter Berücksichtigung dieser Zielstellung aufgezeigte Handlungsbedarf lässt sich bezüglich der Arbeitsschwerpunkte wie folgt kategorisieren:

- notwendige methodische und apparative Entwicklungen und Verbesserungen,
- Bereitstellung von Gerät und anwendungsbezogenen Problemlösungen,
- Akzeptanzsicherung der Vor-Ort-Analytik bei Auftraggebern und Behörden.

Um die Ziele der genannten Schwerpunkte möglichst eindeutig zu definieren, ging es bei der Diskussion auch um die Auswahl der Zielgruppen, für die mobile Analysetechniken zur Verfügung stehen sollten sowie um die Fragestellungen, welche Anforderungen die Geräte erfüllen müssen und welche Anwendungsfelder mit diesen Messtechniken abgedeckt werden sollen.

Die erforderlichen Leistungsparameter mobiler Messtechniken sind in erster Linie von den analytischen Aufgabenstellungen, den Untersuchungszielen und den Ausführenden abhängig. Diese Aspekte bestimmen auch den Umfang der Forderungen bezüglich der Handhabbarkeit der Geräte.

Die Diskussion machte deutlich, dass zumindest ein Großteil mobiler Analysengeräte so ausgelegt sein muss, dass die Durchführung der Analysen von analytisch nicht ausgebildetem Personal durchgeführt werden kann.

In der Diskussion wurde auf zahlreiche Anwendungsfelder der Vor-Ort-Analytik hingewiesen, bei denen der Einsatz mobiler Analysetechniken infolge der Notwendigkeit, in diesen Bereichen in kürzester Zeit Analyseergebnisse zur Verfügung zu haben, prädestiniert ist. Diese können wie folgt systematisiert werden:

- Altlastenerkundung einschließlich der Entwicklung von Probenahmestrategien,
- sanierungsbegleitende Analytik,
- Eingangskontrolle im Abfallwirtschaftsbereich,
- Havarieanalytik,
- produktintegrierter Umweltschutz,
- Prozesskontrolle.

Bezüglich des methodischen Entwicklungsbedarfs wurde in der Diskussion mehrmals darauf verwiesen, dass der Schwerpunkt nicht vorrangig in der Entwicklung neuartiger Analyseverfahren, sondern in der Nutzbarmachung existierender Ana-

lysenverfahren und vorhandener Gerätetechniken zu sehen sei. Dabei sollte nach Meinung zahlreicher Diskussionsteilnehmer die Entwicklung kostengünstiger und einfach handhabbarer chemischer Verfahren, ergänzt durch probenvorbereitungsfreie physikalische, insbesondere optische Verfahren Priorität haben. Hervorgehoben wurden die Dünnschichtchromatographie, Immunoassays, die Biosensorik sowie der Einsatz der laserinduzierten Fluoreszenzspektroskopie (LIF). Die chemisch-analytischen Verfahren erfordern in der Regel allerdings -ebenso wie die meisten Verfahren der Einzelstoffanalytik- eine mehr oder weniger aufwendige Probenvorbereitungsprozedur.

In der Diskussion wurden erhebliche Wissensdefizite bezüglich des Einflusses der Bodenmatrix auf die Extraktionsausbeuten sowohl bei organischen als auch anorganischen Extrakten deutlich. Dies erklärt auch beim Einsatz von in situ Techniken die teilweise erheblichen Messwertschwankungen infolge variierender Bodenmatrices. Ein daraus resultierender methodischer Forschungsbedarf zur Entwicklung eines Algorithmus zur Abschätzung der Bodenmatrix auf die Analytwiederfindung ist unmittelbar gekoppelt an notwendige apparative Entwicklungen. Die Probenvorbereitung ist bei Analysenverfahren, die eine solche Prozedur erfordern, in der Regel der zeitbestimmende Arbeitsschritt. Es wurde im Rahmen der Vorträge am Beispiel des S4-Eluates zur anorganischen Analytik ebenso wie in der Diskussion bezüglich organischer Extrakte darauf verwiesen, dass sowohl die Methoden der Probenvorbereitung als auch das derzeit verfügbare Instrumentarium in der Regel nicht zur Anwendung im Rahmen der mobilen Vor-Ort-Analytik geeignet sind und ein unabdingbarer Handlungsbedarf für die Bereitstellung von Schnelleluat-Verfahren existiert. Als mögliche Alternativen wurde über den Einsatz der Ultraschall-, Heißwasser- und Hochdruckextraktion diskutiert. Insbesondere die Bereitstellung schneller wässriger Eluatverfahren, die eine dem S4-Verfahren vergleichbare analytische Aussage erlauben, verbessern die Akzeptanz der schnellen Vor-Ort-Analytik und vereinfachen die Anwendung bereits vorhandener Analystechniken (bspw. Reaktionsküvettenphotometrie) auch zur Produkt- und Abproduktkontrolle. Von Dr. Maurer wurde darauf hingewiesen, dass innerhalb der EU-Normungsausschüsse erste Vorstellungen

zur Schnellelution existieren. Hier könnte Deutschland eine Schrittmacherfunktion, insbesondere in der Umsetzung der untergesetzlichen Regelwerke des Bodenschutzgesetzes, übernehmen.

Die apparativen Anforderungen an die Analysetechnik sind durch ihren unmittelbaren Einsatz am Untersuchungsstandort festgelegt. Das betrifft in erster Linie einen geringen Energiebedarf, ein geringes Gewicht sowie den robusten Aufbau der Geräte. Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt bei der Methoden- und Geräteentwicklung ist die Kostenfrage. Mobile Analysetechniken lassen sich nur dann etablieren, wenn sowohl Geräte als auch resultierende Analysenkosten unter denen der Labormethoden liegen.

Bezugnehmend auf die vorgestellten Verfahren der Immunoassays und der laserinduzierten Fluoreszenzspektroskopie wurde von mehreren Diskussionsteilnehmern auf die derzeit noch hohen Kosten pro Analyse bzw. die verglichen mit Laborgeräten teilweise hohen Anschaffungskosten der Vor-Ort-Geräte hingewiesen. Zwar können letztere durch den hohen Probendurchsatz zumindest teilweise kompensiert werden, dennoch müsse der Kostenfaktor bei zukünftigen gerätetechnischen Entwicklungen in stärkerem Maß berücksichtigt werden. Im weiteren Verlauf des Meinungsaustausches wurde darauf verwiesen, dass dies generell für alle aufwendigen Techniken (bspw. EDRFA, GC/MS, LIF) zutrifft und starker Kostendruck zu den bereits heute zahlreichen kostengünstigen Schnelltests auf dem Markt herrscht.

Ein weiterer Aspekt der apparativen Entwicklung von Vor-Ort-Messtechniken besteht in einer (Teil-) Automatisierung der Prozessabläufe. Hier sind einfache Handhabbarkeit unter Einbindung der Mikrosystemtechnik, die sowohl die Gerätesteuerung und die Datenauswertung einschließt als auch die zur Qualitätssicherung notwendigen Algorithmen anzustreben. Bedeutung erlangt dieser Punkt insbesondere dadurch, dass möglichst alle mobilen Analysetechniken auch durch analytisch nicht ausgebildete Benutzer anwendbar sein sollten.

Der Bereitstellung anwendungsbezogener und kostengünstiger Problemlösungen kommt bei der Entwicklung neuer oder modifizierter Gerätetechniken und Methoden eine besondere Bedeutung zu, da dies Voraussetzung für die Kommerzialisierung der entwickelten Geräte ist. Zukünftige Entwicklungen müssen sich an den

Problemen der potentiellen Nutzer orientieren, um Probleme bei der Routinemessung zu vermeiden.

Welche Anwendungsfelder durch Vor-Ort-Analytik abgedeckt werden können, wurde bereits beschrieben. In der Diskussion wurde ebenfalls darauf hingewiesen, dass die Anwendung der mobilen Vor-Ort-Analytik nicht als Konkurrenz zu herkömmlich Labormethoden angesehen werden sollte, sondern als eigenständige und in Ergänzung zur Laboranalytik durchzuführende Verfahren.

Die Akzeptanz von Ergebnissen der mobilen Vor-Ort-Analytik bei privaten und staatlichen Auftraggebern sowie deren behördliche Anerkennung sind Grundvoraussetzung für die Anwendung mobiler Analysentechniken. Aus diesem Grund widmeten sich zwei Referate dieser Problematik und auch in der Diskussion wurde dieses Thema angeschnitten. Deutlich wurde dabei, dass mehrere Defizite die Ursache für die derzeit mangelnde Berücksichtigung der mobilen Vor-Ort-Analytik bei der privaten und staatlichen Auftragsvergabe darstellen. Obwohl sich für viele Aufgabenstellungen der Einsatz der mobilen Vor-Ort-Analytik wegen der kurzen Analysenzeiten, des hohen Probendurchsatzes und der daraus resultierenden Möglichkeit der standortspezifischen Probenahme sowie geringeren Kosten anbietet, führen mangelnde Sach- und Technikenkenntnisse der Auftraggeber häufig nach der Forderung einer „DIN-gerechten“ Analytik und zur Nichtberücksichtigung der Feldmethoden. Aus diesen Gründen finden auch die Ergebnisse bei Behörden nur im eingeschränkten Maß Anerkennung. Um die bestehenden Defizite auszugleichen, wurde ein effizienterer Wissenstransfer zwischen Methodenentwicklern, Geräteanbietern und Behörden gefordert. Empfohlen wurde auch, behördliche Stellen, wie bspw. Landesämter, die z.T. über eigene Laboratorien verfügen, direkt in die Applikationsentwicklung und Validierung neuer Methoden einzubeziehen. Damit könnten den geforderten Qualitätssicherungen und der Akzeptanz der Ergebnisse von diesen Einrichtungen Rechnung getragen werden. Als Beispiel einer Qualitätssicherung wurde in der Diskussion vorgeschlagen, anhand ausgewählter Altlastenstandorte einen Vergleich der Ergebnisse von Vor-Ort-Methoden untereinander bzw. mit Labormethoden durchzuführen; dies sei bereits von der LFU Baden-Württemberg begonnen worden.

Zusammenfassend lässt sich aus den zahlreichen Diskussionsbeiträgen ableiten, dass schnelle Vor-Ort-Analytik eine sinnvolle Alternative zur konventionellen Vorgehensweise bei der Altlastenerkundung, -sanierung und -überwachung sein kann. Bedarf an mobilen Analysentechniken besteht nicht nur in den „traditionellen“ Einsatzgebieten des Altlasten- und Abfallwirtschaftsbereiches, sondern auch in den Bereichen der Umweltvorsorge sowie des produktintegrierten Umweltschutzes. Vor jeder Applikation bedarf es jedoch stets einer vertieften Analyse der Problemstellung.

Aus Sicht der Stiftung ist die Entwicklung und kommerzielle Bereitstellung kostengünstiger Gerätetechnik, verknüpft mit anwenderfreundlichen Applikation prioritär. Ein hoher methodischer und apparativer Entwicklungsstand bietet auch reelle Marktchancen im europäischen und außereuropäischen Bereich und könnte das hohe Niveau deutscher Umwelttechnik stärken.

Die Analyse der gegenwärtigen Situation hat gezeigt, dass hierzu eine forcierte Zusammenarbeit zwischen Methoden- und Geräteentwicklern sowie Nutzern notwendig ist, um diese Geräte zur Marktreife zu entwickeln und echte anwenderorientierte Problemlösungen bereitzustellen.

Leichte Bedienbarkeit, niedrige Kosten und hohe Qualität der Ergebnisse müssen die Anreize sein, dass mobile Analysentechnik zukünftig nicht nur im Rahmen wissenschaftlicher Forschung zum Einsatz kommen, sondern auch im Alltag von Ingenieurbüros oder durch Betriebe angewendet wird.

Die Entwicklung dieser Verfahren ist folglich nur durch geeignete Verbundbildung von Methoden-, Geräteentwicklern und Anwendern realisierbar. Gerade in diesem Punkt bestehen nach Ansicht einiger Diskussionsteilnehmer erhebliche Defizite, da bisher getrennte methodische Entwicklungen im universitären Bereich erfolgen, dann Geräteentwickler das Messprinzip in eine Gerätekonfiguration umsetzen und der Anwender die spezifische Applikation entwickeln muss.

Nach Einschätzung der meisten Diskussionsteilnehmer besteht vornehmlich Entwicklungsbedarf auf folgenden Gebieten:

- Bereitstellung von Methoden der schnellen Probenvorbereitung, insbesondere der Schnellelution,

- Entwicklung bzw. Weiterentwicklung feldfähiger kostengünstiger chemischer Analysenverfahren (bspw. Dünnschichtchromatographie) und Gerätetechnik mit einem hohen Informationsgehalt,
- Entwicklung und Anwendung der mikrostrukturierter Sensorik als Feldmethode,
- Weiterentwicklungen der Immunoassays hinsichtlich Automatisierbarkeit und Handhabbarkeit,
- Entwicklung bzw. Weiterentwicklung der Feststoffanalytik bzw. probenvorbereitungsfreier oder -armer Analysetechniken (bspw. optische Messverfahren, Ionenmobilitätsspektrometrie),
- Verbesserung datenanalytischer Auswertemethoden und der analytischen Qualitätssicherung.

Diese Auflistung bezieht sich lediglich auf die in der Diskussion explizit hervorgehobenen Schwerpunkte und soll keinen Anspruch auf Vollständigkeit des wissenschaftlichen Forschungsbedarfs zur Schnellanalytik erheben.

Als erstes Ergebnis des Osnabrücker Umweltgespräches wurden zwei Arbeitsgruppen gebildet, die bis Ende November 1998 eine vertiefte Recherche zu den Möglichkeiten und Anwendungsfeldern von Methoden der schnellen Vor-Ort-Analytik durchführen sollen. Sie soll die Basis für einen geplanten DBU-Förderschwerpunkt zum Thema „Schnelle Vor-Ort-Analytik“ bilden.

Die Aufgabengebiete der beiden Arbeitsgruppen sind in der Tabelle 6 dargestellt und umfassen:

1. Probenahme, Probenahmestrategie, Probenvorbereitung,
2. Einsatz komplexer und einfacher Analysenverfahren,
3. Einzelstoffanalytik mit „aufwendigerer“ Analysetechnik.

Der Arbeitskreis A beschäftigt sich vornehmlich mit den unter den Punkten 1. und 2. beschriebenen Tätigkeitsfeldern, während Arbeitskreis B die unter 3. aufgeführten Themen aufgreift.

12. Osnabrücker Umweltgespräch „Schnelle Vor-Ort-Analytik“

Tabelle 6: Zusammensetzung der gebildeten Arbeitskreise

	Arbeitskreis A (low-cost-Methoden)	Arbeitskreis B (high-tech-Methoden)
Sprecher	Dr. Flachowsky	Prof. Matz
Thematik	Prinzipien der Probenvorbereitung sowie Entwicklung und Adaption einfacher Analysenverfahren	Entwicklung und Adaption von Methoden der Hochleistungsgeräteanalytik
Zielgruppe	Nichtanalytiker, Allgemeinheit	Fachpersonal
Mitglieder	Dr. Baermann Dr. Borsdorf Dr. Flachowsky Dr. Ecknig Frau Dr. Krämer Herr Kübler Dr. Maurer Dr. Schiewe Herr Schirmer Frau Dr. Strehnitz	Dr. Lefèvre Dr. Lucht Prof. Löhmannsröben Dr. Morley Dr. Schneider Herr Wagner

Teilnehmerverzeichnis des 12. Osnabrücker Umweltgesprächs

Herr Dr. U. Kallert

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
An der Scharlake 39
31135 Hildesheim

Herr Dr. S. Morley

Bruker-Saxonia-Analytik GmbH
Permoserstraße 15
04318 Leipzig

Herr J. Kübler

MOBILAB Hamburg MM1-Umweltanalytik
GmbH
Zum Fürstenmoor 11
21079 Hamburg

Herr Dr. R. Riesenberg

Institut für physikalische Hochtechnologie
e.V.
Winzerlaer Straße 10
07745 Jena

Herr Dr. A. Maurer

Engler-Bunte-Institut
Bereich Wasserchemie
Richard-Willstaetter-Allee 5
76131 Karlsruhe

Herr Prof. Dr. G. Matz

Technische Universität Hamburg-Harburg
Abteilung Messtechnik
Harburger Schloßstraße 20
21079 Hamburg

Herr Dr. A. Baermann

Dr. Baermann & Partner Mikroanalytik
Hochallee 40
20149 Hamburg

Herr Dr. J. Schiewe

Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH
Carl-Zeiss-Straße 18-20
55129 Mainz

Herr Dr. J. Flachowsky, Herr Dr. H. Borsdorf

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle
GmbH
Sektion Analytik
Permoserstraße 15
04318 Leipzig

Herr Dr. W. Ecknig

AZB-Analytische Forschung für
Altlastensanierung GmbH
Rudower Chaussee 5
12489 Berlin

Frau Dr. P. Krämer

Institut für ökologische Chemie
GSF-Forschungszentrum Neuherberg
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Neuherberg bei München

Frau Dr. B. Strehlitz

Senslab GmbH
Permoserstraße 15
04318 Leipzig

12. Osnabrücker Umweltgespräch „Schnelle Vor-Ort-Analytik“

Herr E. Schirmer

SBU - Schirmer und Dr. Berthold
Umwelttechnik GmbH
Andreas-Hecht-Straße 2
04736 Waldheim

Herr Dr. K. Schneider

STAR OPTRON Schneider GmbH
Technologie- und Gewerbezentrum
Weinheimer Straße 64
68309 Mannheim

Herr Dr. H. Lucht

LLA - Umwelttechnische Analytik und
Anlagen GmbH
Rudower Chaussee 6 Geb. 19.1
12484 Berlin

Herr Dr. A. Peylo

Bundesforschungsanstalt für Forst- und
Holzwirtschaft
Institut für Holzbiologie und Holzschutz
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg

Herr Dr. T. Arthen-Engeland

Bruker-Franzen Analytik GmbH
Entwicklung
Fahrenheitstraße 4
28359 Bremen

Herr Prof. Dr. H.-G. Löhmansröben

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-
Nürnberg
Institut für physikalische Chemie
Egerlandstraße 3
91058 Erlangen

Herr P. Wagner

Optimare GmbH
Kutterstraße 3
26386 Wilhelmshaven

*Herr Dr. W. Wahmhoff; Herr Dr. J. P. Lay;
Frau Dr. B. Krirchhoff; Herr Dr. F. Bosewitz;
Herr Dr. M. Kleinke; Herr Dr. V.*

Wachendörfer; Herr Dr. H. Holgerwurl

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

An der Bornau 2
49090 Osnabrück

Herr H. Stöber

Institut für Bioprocess- und
Analysenmesstechnik
Rosenhof
37308 Heiligenstadt

Referenzenverzeichnis

U. Kallert

„Behördliche Akzeptanz und Anforderungen an die Vor-Ort-Analytik“

J. Kübler

„Akzeptanz von Feldmethoden durch Ingenieurbüros und Auftraggeber“

A. Maurer

„Möglichkeiten schneller Bodenaufbereitungen unter Feldbedingungen (Beispiel S4-Eluat)“

J. Flachowsky

„Visualisierte Multiparameterdünnenschichtchromatographie als Feldmethode“

P. Krämer

„Immunologische Test-Kits als Field Screening Methode“

P. Wagner

„Schnell-Detektion von Mineralölkontaminationen in Böden und Gewässern“

S. Morley

„Miniaturisierte IR- und IMS-Sensoren für die Vor-Ort-Analytik“

J. Schiewe

„Anwendungspotential von Mikrosystemen und -komponenten für die Feldanalytik“

Verzeichnis der UFZ-Berichte

Nr. 1/1994

Prognose extremer Umweltereignisse

Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 2/1994

Handlungsstrategien für den Leipziger Raum - Visionen, Innovationen, Praktikabilität

Sigrun Kabisch

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 3/1994

Weiche Standortfaktoren und Flächennutzung

Hans Neumann, Brigitte Usbeck, Hartmut Usbeck

Nr. 4/1994; Band 1 und 2

Modellierung und Kurzfristvorhersage von Sommersmogsituationen

Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 1/1995

Vorkommen und Transfer von Dioxinen und Schwermetallen im Raum Merseburg, Lützen, Naumburg, Zeitz

Bernd Feist, Brigitte Niehus, Gisela Peklo, Peter Popp, Uwe Thuß

Sektion Analytik

Nr. 2/1995

Soziale Brüche und ökologische Konflikte in einer ländlichen Industrieregion: Der Südraum Leipzig

Ursula Bischoff, Sigrun Kabisch, Sabine Linke, Irene Ring, Dieter Rink

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 3/1995

Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen

Uwe Franko, Burkhard Oelschlägel, Stefan Schenk

Sektion Bodenforschung

Nr. 4/1995

Beiträge zum Workshop "Braunkohlebergbaurestseen"

Sektion Hydrogeologie

Nr. 1/1996

Elutionsverhalten und ökotoxisches Potential von Sonderabfällen

Albrecht Paschke, Detlef Lazik, Helmut Segner, Elke Büttner

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Sektion Hydrogeologie

Nr. 2/1996

Biologische Indikation in Kleinfließgewässern der Dübener und Dahleener Heide

Claus Orendt

Projektbereich Naturnahe Landschaften

Nr. 3/1996

Potential und Strategien der Wiederbesiedlung am Beispiel des Makrozoobenthons in der mittleren Elbe (Dissertation)

Ute Dreyer

Sektion Gewässerforschung

Nr. 4/1996

Immissionsprognose - Univariate Modellierung und Kurzzeitvorhersage von Wintersmog-situationen (Dissertation)

Uwe Schlink

Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 5/1996

Untersuchungen zur gepflanzten Vegetation und ihrer ökologischen Bedeutung

Michael Winkler

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 6/1996

Ökologische Charakterisierung von Biotopen im urbanen Raum am Beispiel von Modelltiergruppen

Erik Arndt, Hans Pellmann

Universität Leipzig, Institut für Zoologie

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 7/1996

Ausgewählte Rechtsfragen in bezug auf die Sanierung von Braunkohletagebau-gebieten in den neuen Bundesländern

Reinhard Müller, Birgit Süß

Max-Planck-Arbeitsgruppe Umweltrecht am UFZ

Nr. 8/1996

Hallesche Kleingärten

Nutzung und Schadstoffbelastung als Funktion der sozioökonomischen Stadtstruktur und physisch-geographischer Besonderheiten

Iris Breuste, Jürgen Breuste, Karamba Diaby, Manfred Frühauf, Martin Sauerwein,

Michael Zierdt

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 9/1996

Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild

Vera Heinz

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 10/1996

Untersuchungen zu Wechselbeziehungen zwischen Immissionen und Flächennutzung auf strukturtypischen Testflächen in Leipzig

K. Freyer, P. Popp, H.C. Treutler, D. Wagler, G. Schuhmann

UFZ, Sektion Analytik, Projektbereich Urbane Landschaften

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz

Nr. 11/1996

Stadtböden

Schadstoffbelastung und Schadstoffmobilität

Guido Schulte

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 12/1996

Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen

J. Breuste, T. Keidel, G. Meinel, B. Münchow, M. Netzband, M. Schramm

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden

Ingenieurgemeinschaft Wasser-Abfall-Boden, Karlsruhe

Nr. 13/1996

Induktion von CYP1A1 durch Xenobiotica in Leberzellkulturen von Regenbogenforellen

(Dissertation)

Stefan Scholz

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 14/1996

Ökotoxikologische Wirkungen atmogener anorganischer Schadstoffe auf Kiefernforste

Horst Schulz, Gernot Huhn, Siegrid Härtling

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 15/1996

Kinetische Untersuchungen zum Abbau chlorierter und methylierter Benzoesäuren durch

Pseudomonas spec. B13 FR 1 (SN45P) (Dissertation)

Roland A. Müller

Sektion Sanierungsforschung/Umweltbiotechnologisches Zentrum (UbZ)

Nr. 16/1996

**Untersuchungen zur Situation des Wohnumfeldes ostdeutscher Großsiedlungen
am Beispiel von Leipzig-Grünau (Dissertation)**

Thomas Keidel

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 17/1996

**Chancen einer Umweltwirtschaft durch §249h-AFG-Projekte untersucht
für den Freistaat Sachsen**

Helga Horsch

Sektion Ökosystemanalyse, Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie

Nr. 18/1996

Modellierung der Ausbreitung kfz-bedingter Schadstoffe in der Stadt Leipzig

Dietrich Wagler

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 19/1996

Umweltverhalten und Lebensqualität in urbanen Räumen

Tagungsbericht und wissenschaftliche Beiträge der UFZ-Sommerschule 1996

Sigrun Kabisch (Hrsg.)

Sektion Ökosystemanalyse, Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie

Nr. 20/1996

Analytische Untersuchungen zum Schadstoffeintrag durch den Hausbrand

- Auswirkungen des gegenwärtigen Strukturwandels auf die urbane Belastungssituation

Werner Engewald, Thomas Knobloch, Arndt Asperger

Universität Leipzig, Institut für Analytische Chemie

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 21/1996

**Zusammenstellung der vom UFZ sowie von Partnereinrichtungen durchgeführten
Untersuchungen in repräsentativen Kleinzugsgebieten der Elbe**

Ralph Meißner, Helmut Guhr, Rudolf Krönert

Sektion Bodenforschung, Sektion Gewässerforschung

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 22/1996

Untersuchungen zur atmosphärischen Stickstoffdeposition und zur Nitratverlagerung

(Dissertation)

Svenje Mehlert

Sektion Bodenforschung

Nr. 23/1996

Untersuchungen zur Freisetzung der gelösten organischen Substanz des Bodens (DOM) und zum Einfluß der DOM auf die Mobilisierung ausgewählter Schadstoffe in Abhängigkeit von Boden- und Standorteigenschaften (Dissertation)

Karsten Kalbitz

Sektion Bodenforschung

Nr. 24/1996

Geschwindigkeitslimitierende Einflußgrößen beim mikrobiellen Schadstoffabbau in phenolischen Deponiewässern (Dissertation)

Frank Eismann

Sektion Sanierungsforschung

Nr. 1/1997

Dynamik von Wasser und Schadstoffen im Boden: Diskrete Simulationsmethoden

Hans Vollmayr

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 2/1997

Beziehungen zwischen Urbanen Flächennutzungsstrukturen und klimatischen Verhältnissen am Beispiel der Stadtregion Leipzig

Ulrich Müller

Sektion Expositions- und Epidemiologie

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 3/1997

Regionalökologie

Tagungsbericht und wissenschaftliche Beiträge des Deutsch-Argentinischen Workshops Mendoza - Argentinien

Brigitte Großer

Nr. 4/1997

Zur Stickstoffdynamik selbstbegrünter Ackerbrachen im mitteldeutschen Schwarzerdegebiet (Dissertation)

Gerhard Sauerbeck

Sektion Bodenforschung

Nr. 5/1997

Tern-Tagung

Terrestrische und ökosystemare Forschung in Deutschland

Stand und Ausblick

Heidrun Mühle, Svenne Eichler (Hrsg.)

Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Nr. 6/1997

Chancen für eine nachhaltige Regionalentwicklung in altindustriellen Regionen unter Berücksichtigung des Konzeptes des regionalen Lebenszyklus - das Beispiel Südraum Leipzig (Dissertation)

Tillmann Scholbach

Tillmann Scholbach

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 7/1997

**2. Leipziger Symposium „Ökologische Aspekte der Suburbanisierung“
Tagungsband der Veranstaltung am 13.6. und 14.6.96**

J. Breuste

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 8/1997

**Soziologisch-, ökonomisch- und ökologisch lebensfähige Entwicklung
in der Informationsgesellschaft**

Wolf Dieter Grossmann, Stefan Fränzle, Karl-Michael Meiß, Thomas Multhaup, Andreas Rösch

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 9/1997

**Untersuchungen in Enclosures und im Freiwasser des Arendsees (Altmark): Mikrobielles
Nahrungsnetz, Zoo- und Phytoplankton in einem cyanophyceen-dominierten eutrophen See**
(Dissertation)

Jörg Tittel

Sektion Gewässerforschung

Nr. 10/1997

Einfluß von Standort und Bewirtschaftung auf den N-Austrag aus Agrarökosystemen

U. Franko, S. Schenk, D. Debevc, P. Petersohn, G. Schramm

Sektion Bodenforschung

Nr. 11/1997 (Dissertation)

**Der Einfluß von Immissionen auf ausgewählte Insektengruppen
(Homoptera, Auchenorrhyncha; Coleoptera, Carabidae) verschiedener Trophieebenen**
(Dissertation)

Sabine Neumann

Sektion Bodenforschung

Nr. 12/1997

**Optimierung umweltverträglicher Analysenverfahren für Mineralölkohlen-wasserstoffe im
Boden**

H. Borsdorf, J. Flachowsky

Sektion Analytik

Nr. 13/1997

**Alternativer Landschaftsplan für eine kleine attraktive Stadt in der Informationsgesellschaft -
Beispiel Visselhövede**

Wolf Dieter Grossmann, Karl-Michael Meiß, Stefan Fränzle, Thomas Multhaup

Donald F. Costello, Frank Simon, Michael Sorokin

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 14/1997

**Untersuchungen zum Eintrag von Polycyclischen aromatischen Kohlen-wasserstoffen (PAK)
über den Luftpfad in ländlichen Gebieten des Raumes Halle/Sachsen (Dissertation)**

Katja Schäfer†

Sektion Bodenforschung

Nr. 15/1997

Schwermetallgehalte der Böden im mitteldeutschen Ballungsraum - ein Überblick

Manfred Altermann, Reinart Feldmann, Michael Steininger

Büro für Bodenökologie, Bodenkartierung, Bodenschutz Halle

UFZ, Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg, Institut für Agrartechnik und Landeskultur

Nr. 16/1997

Aspekte der Sozialverträglichkeit der Mobilitätsentwicklung in Leipzig

E. Geisler

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz
UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 17/1997

¹⁵N-Traceruntersuchungen zur Nitrifikation/Denitrifikation, insbesondere zur Bildung von Stickstoffoxiden in Böden und wässrigen Medien (Dissertation)

Inken Sich

Sektion Bodenforschung

Nr. 18/1997

The influence of soil organic matter (SOM) on the accumulation and transformation of inorganic and organic pollutants

E. Schulz, E.-M. Klimanek, M. Körschens, N.A. Titova, L.S. Travnikova, B.M. Kogut,

V.A. Bol'schakov, Z.N. Kachnovic, S.J. Sorokin, T.N. Avdeeva, S.P. McGrath

UFZ, Department of Soil Sciences

Rothamsted Experimental Station Registered Office, Department Soil Chemistry

Dokutchaev Soil Science Institute, Department Soil Biology, Moscow

Nr. 19/1997

Die Vegetation als Senke und biochemischer Reaktor für luftgetragene Schadstoffe

Judwig Weißflog, Klaus-Dieter Wenzel

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 20/1997

Mobilität und Bioverfügbarkeit luftgetragener Schadstoffe in emittentennahen Agrarböden Sachsen-Anhalts

Michael Manz

Nr. 21/1997

Bestimmung der Deposition von Fremd- und Schadstoffen in Kiefernforste mit Hilfe von Baumborke

Horst Schulz, Gernot Huhn, Uwe Schulz

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 22/1997

Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften des Südraumes Leipzig unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzession

Walter Durka, Michael Altmoos, Klaus Henle

Sektion Biozönoseforschung

Projektbereich Naturnahe Landschaften

Nr. 23/1997

Reststoffe der Kupferschieferverschüttung

Teil 1: Mansfelder Kupferschlacken

Peter Schreck, Walter Gläßer (Hrsg.)

Sektion Hydrogeologie

Nr. 24/1997

Landschaftsstrukturen und Regulationsfunktionen in Intensivagrarlandschaften im Raum Leipzig-Halle.

Regionalisierte Umweltqualitätsziele - Funktionsbewertungen - multikriterielle Landschaftsoptimierung unter Verwendung von GIS (Dissertation)

Burghard Meyer

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 25/1997

Vorkommen und Verteilung von toxisch relevanten organischen Komponenten und Schwermetallen in ausgewählten Untersuchungsgebieten

Peter Popp, Bernd Feist, Brigitte Niehus, Gisela Peklo, Uwe Thuß
Sektion Analytik

Nr. 26/1997

Mineralölbelastetes Grundwasser - Struktur, Dynamik, biochemisches Abbaupotential sowie Codierung und Verbreitung degradativer Leistungen in mikrobiellen Biozönosen dieses Ökosystems (Dissertation)

Antje Birger
Sektion Hydrogeologie
Sektion Umweltmikrobiologie

Nr. 27/1997

Sanierungsforschung in regional kontaminierten Aquiferen (SAFIRA)

Holger Weiß, Georg Teutsch, Birgit Daus (Hrsg.)
UFZ, Projektbereich Industrie- und Bergbaufolgelandschaften
Eberhard-Karls-Universität, Geologisches Institut

Nr. 1/1998

Experimentelle Tracerstudien und Modellierungen von Austauschprozessen in einem meromiktischen Restsee (Hufeisensee)

Manfred Maiss, Volker Walz, Michael Zimmermann, Johann Ilmberger, Wolfgang Kinzelbach, Walter Gläßer
Sektion Hydrogeologie

Nr. 3/1998

Untersuchungen zur elektrothermischen Verdampfung als Probenzuführungs-technik für die induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ETV-ICP-MS) unter besonderer Berücksichtigung der Transportphänomene (Dissertation)

Karsten Grünke
Sektion Analytik

Nr. 4/1998

Sorption von hydrophoben organischen Verbindungen an gelösten Huminstoffen (Dissertation)

Anett Georgi
Sektion Sanierungsforschung

Nr. 5/1998

**Rice Terraces of Ifugao (Northern-Luzon, Philippines)
- Conflicts of Landuse and Environmental Conservation**

Josef Settele, Harald Plachter, Joachim Sauerborn, Doris Vetterlein
UFZ, Interdisciplinary Department of Conservation Biology and Natural Resources
Philipps-University Marburg
Justus-Liebig-University Giessen
Brandenburg-Technical-University Cottbus

Nr. 6/1998

Landschaftsbewertung unter Verwendung analytischer Verfahren und Fuzzy-Logic

Ergebnisse des Workshops "Einsatzmöglichkeiten von Fuzzy Sets in der Landschaftsbewertung" vom 26. bis 28. Februar 1997 am UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Ralf Grabaum und Uta Steinhard (Hrsg.)
Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 7/1998

Wassergewinnung in Talgrundwasserleitern im Einzugsgebiet der Elbe

W. Nestler, W. Walther, F. Jacobs, R. Trettin, K. Freyer
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), LB Geotechnik und Wasserwesen
Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft
Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie
UFZ, Sektion Hydrogeologie, Sektion Analytik

Nr. 8/1998

Diversität und regionale Nachhaltigkeit: Entwicklungsperspektiven des Industriestandortes Böhlen

Irene Ring, Helga Horsch
Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie an der Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 9/1998

Interdependenzen von gebauter, sozialer und natürlicher Umwelt und deren Einfluß auf Wohnzufriedenheit und Seßhaftigkeit

Quartiersbezogene stadtsoziologische Untersuchungen in Leipzig-Stötteritz im Rahmen des Themenschwerpunktes "Sozialräumliche Differenzierung und stadtökologischer Strukturwandel"
Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie an der Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 10/1998

Microbiology of Polluted Aquatic Ecosystems

Proceedings of the Workshop held on the 4th and 5th December 1997 at the UFZ Centre for Environmental Research
Leipzig-Halle
Petra Maria Becker (Editor)
Department of Remediation Research

Nr. 11/1998

Untersuchungen zum Boden/Pflanze - Transfer ausgewählter organischer Umweltschadstoffe in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften (Dissertation)

Kathrin Heinrich
Sektion Bodenforschung

Nr. 12/1998

Isotopenbiogeochemische Untersuchungen über Umsetzungsprozesse des Schwefels in Agrarökosystemen mittels der stabilen Isotope ^{34}S und ^{18}O (Dissertation)

Katrin Knief
Sektion Hydrogeologie

Nr. 13/1998

Leistungssteigerung bei der biologischen Bodenreinigung in Perkolationssystemen

Christian Löser, Andreas Zehnsdorf, Petra Hoffmann, Heinz Seidel
Sektion Sanierungsforschung

Nr. 14/1998

Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig - Entwicklung einer Methodik zur Operationalisierung einer nachhaltigen Stadtentwicklung auf der Ebene von Stadtstrukturen -

Evelyne Wickop, Peter Böhm, Katrin Eitner, Jürgen Breuste
Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 15/1998

Bewertung von Maßnahmennotwendigkeiten des Umwelt- und Ressourcenschutzes im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld

Burghard C. Meyer, Rudolf Krönert
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 16/1998

Durchflußzytometrische Charakterisierung der Populationsdynamik von *Acinetobacter calcoaceticus* und *Ralstonia eutropha* (Dissertation)

Carsten Herrmann

Sektion Umweltmikrobiologie

Nr. 17/1998

Vom Individuum zur logistischen Gleichung - ein neues Verfahren zur Bestimmung der Populationsdynamik aus einem individuen-basierten Modell (Dissertation)

Lorenz Fahse

Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 18/1998

Workshop-Bericht: **Bioremediation of polluted areas**

Luise Berthe-Corti (Hrsg.)

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fachbereich 7

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Analytik
Permoserstraße 15
D-04318 Leipzig
Telefon 0341/235-2370
Telefax 0341/235-2625