




Innovative Untersuchungsstrategien

Vor-Ort-Untersuchungen auf Altstandorten und Altablagerungen zur Unterstützung des Flächenrecyclings

LANUV-Arbeitsblatt 8



Innovative Untersuchungsstrategien
Vor-Ort-Untersuchungen auf Altstandorten und
Altablagerungen zur Unterstützung des Flächenrecyclings

LANUV-Arbeitsblatt 8

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2009

IMPRESSUM

- Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
- Autoren: Dr. Jürgen Schütz, ET&T GmbH Heidelberg, jetzt Arcadis Consult GmbH, Kaiserslautern
Dr. Johannes Flachowsky, Helmholtzzentrum für Umweltforschung (UFZ) GmbH, Leipzig
Prof. Dr. Bülent Tezkan, Universität zu Köln
Michael Kremer, Stadt Köln, jetzt Stadt Bergisch Gladbach
Till Scheu, Stadt Köln
- Redaktion: Dr. Andrea Hädicke, Wolf-Dietrich Bertges, Dr. Axel Barrenstein (LANUV NRW)
- Bildnachweis: siehe Seite 4
Titelseite: Einsatz eines Geo-Radars, Bohrung, Bodenluft-Entnahme (Dr. Jürgen Schütz)
- ISSN: 1864-8916 LANUV-Arbeitsblätter
-
- Informationsdienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter
• www.lanuv.nrw.de
Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im
• WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179
- Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon 0201 714488
- Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet.
Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Vorwort

Einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme leistet die Wiedernutzung brachliegender Industrie-, Gewerbe-, Bahn- und Konversionsflächen. Im Zusammenhang mit der geplanten Wiedernutzung solcher Brachflächen werden verlässliche Informationen über mögliche Bodenverunreinigungen und die Verhältnisse im Untergrund (Fundamente, Tanks, Leitungen) benötigt. Die Befürchtung langwieriger und kostenintensiver Standortuntersuchungen und daraus ggf. resultierender Sanierungsbedarf schreckt jedoch viele Grundstückseigentümer, Investoren oder die Behörden vor der Wiedernutzung einer Brachfläche ab.

Untersuchungsmethoden, die flächendeckend sowie Zeit und Kosten sparend alltagsbedingte Risiken einer Brachfläche aufzeigen, können einen wesentlichen Beitrag zur beschleunigten Wiedernutzung von Brachflächen leisten.

Als Ergebnis eines Untersuchungsvorhabens des LANUV entstand der vorliegende Leitfaden „Innovative Untersuchungsstrategien – Vor-Ort-Untersuchungen auf Altstandorten und Altablagerungen zur Unterstützung des Flächenrecyclings“. In diesem Leitfaden werden im Wesentlichen dargestellt und beschrieben:

- Verfahren der Vor-Ort-Untersuchung (physikalisch-chemische Methoden der Stoffanalytik, geophysikalische Methoden),
- organisatorische und personelle Voraussetzungen zur beschleunigten Untersuchung einer Brachfläche unter Einsatz von Vor-Ort-Untersuchungsverfahren sowie
- DV-gestützte Hilfsmittel zur Auswahl geeigneter Untersuchungsmethoden sowie zur dreidimensionalen Darstellung der Untersuchungsbefunde.

Der Leitfaden enthält ebenfalls die Ergebnisse eines im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Feldversuchs, bei dem der Einsatz von Vor-Ort-Untersuchungsverfahren auf einem Altstandort der metallverarbeitenden Industrie unter praktischen Bedingungen getestet wurde. Weiterhin wurden bei der Formulierung des Leitfadens die Erkenntnisse und Ergebnisse einer Informationsveranstaltung „Innovative Untersuchungsstrategien zur Unterstützung des Flächenrecyclings“ für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der kommunalen Verwaltungen, der Landesverwaltung und von Gutachterbüros, die in 2008 in Köln stattgefunden hatte, berücksichtigt.

Ich danke den Auftragnehmern und allen Fachleuten, die an der Erarbeitung des Leitfadens beteiligt waren.



Dr. Heinrich Bottermann
Präsident des
Landesamtes für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen

Danksagung:

Die Stadt Köln hat dieses Projekt durch Übernahme der Organisationskosten für die Informationsveranstaltung und die Workshops sowie durch die Übernahme der Überarbeitungskosten für die Auswertesoftware unterstützt.

Die im Projekt verwendete Auswahlsoftware NORISC-DSS wurde von der Stadt Köln als Projektkoordinator des EU-Projektes NORISC für die Erstellung dieses Leitfadens kostenfrei zur Verfügung gestellt. Die Stadt Köln stellt darüber hinaus diese Software zum freien Herunterladen im Internet zur Verfügung.

Die im NORISC-Projekt verwendete Auswertungssoftware „Envistigator“ wurde für dieses Projekt vom Entwickler Herrn Sobisch überarbeitet und kostenfrei als Prototyp für Auswertungen zur Verfügung gestellt.

Kapitel 5 wurde maßgeblich von den Herren Dr. Flachowsky und Professor Dr. Tezkan bearbeitet. Diese Bearbeitung erfolgte ehrenamtlich.

Anmerkungen:

Hinweise auf bestimmte Gerätetypen, Hersteller, Anbieter, Kataloge, Datenblätter und Abbildungen sind kein Auswahlkriterium für den Vergleich mit anderen Anbietern. Sie dienen nur beispielhaft der Charakterisierung von Einsatzfeldern und den prinzipiellen Voraussetzungen ihrer Anwendung. Es ist damit keine Bewertung der Qualität oder eine Empfehlung für bestimmte Firmen verbunden.

Die Auswahlsoftware NORISC-DSS gibt den Erkenntnis- und Wissensstand von 2003 wieder. Evtl. neuere Vor-Ort-Geräteentwicklungen sind deshalb nicht berücksichtigt. Dies ist beim Einsatz der Software zu beachten.

Die verwendete Auswertesoftware „Envistigator“ wird inzwischen kommerziell vertrieben. Inwieweit andere Visualisierungssoftware einsetzbar ist, wurde im Rahmen des Projektes nicht geprüft.

Für die Linkliste und den Inhalt der Web-Seiten wird keine Gewähr übernommen. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Firmen, die als Dienstleistung Vor-Ort-Analytik, insbesondere GC- bzw. GC-MS-Vor-Ort-Untersuchungen, anbieten, sind aufgerufen, ihren Link mitzuteilen.

Bildnachweise (Autoren / Firmen in Klammer):

S. 16 Luftbild von Google Maps mit Bearbeitung von Herrn Dr. Schütz

S. 20, 21, 24 Bilder der Felduntersuchung (Herr Dr. Schütz)

S. 25, 32, 33, 34 Auswertungen mit der Envistigator-Software erstellt (Fa. envisoft)

S. 38, 39, 41 (PDV 6000), 42 (M-IR), 44 (PID MiniRae), 51 Drucksondiergeräte (Dr. Flachowsky)

S. 40 Genehmigung über Fa. Nordantec GmbH

S. 41 TEA 4000 (Fa. Nordantec GmbH)

S. 42 GASMET (Fa. ansyco), Alpha P (Bruker Optics)

S. 44 G 200-X (Fa. Honold)

S. 45 GC Voyager (Fa. ansyco), Compact-GC (Fa. Axel Semrau), GCM 5000 (Fa. SLS Micro Technology), meta-GC (Dr. Flachowsky)

S. 47 Hapsite (Fa. Inficon/ Fa. Siegrist), CT 1182 (Fa. Axel Semrau), E2M (Dr. Flachowsky / Bruker Daltonik)

S. 49 S1Turbo SD (Fa. Bruker AXS), XL3t (Fa. Analyticon)

S. 53 DR 3800 (Fa. Hach-Lange)

S. 56-65 mit Genehmigung des Instituts für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
2	Die innovative Untersuchungsstrategie.....	10
2.1	Inhalt und Ziel.....	10
2.2	Voraussetzungen.....	11
2.3	NORISC DSS – Beispiel für eine unterstützende Software zur Auswahl von Untersuchungsmethoden.....	13
2.4	Triad – Ansatz der US-EPA.....	14
3	Feldversuch zur praktischen Anwendung.....	16
3.1	Auswahl des Standortes und Umfang der Untersuchungen.....	16
3.2	Felduntersuchungen.....	19
3.3	Ergebnisse der Felduntersuchungen und Abgleich mit dem früheren Kenntnisstand.....	22
4	Erkenntnisse / Erfahrungen / Empfehlungen und Ausblick.....	27
4.1	Erkenntnisse.....	27
4.1.1	Qualitätsmanagement.....	27
4.2	Erfahrungen.....	30
4.3	Empfehlungen und Ausblick.....	34
5	Methoden zur Vor-Ort-Untersuchung.....	36
5.1	Physikalisch-chemische Methoden der Stoffanalytik.....	36
5.1.1	Kolorimetrische Verfahren - Prinzip des Farbvergleichs.....	38
5.1.2	Photometrische Verfahren - Prinzip der spektralen Absorptionsmessung.....	39
5.1.3	Voltammetrie - Prinzip der Messung von Strom-Spannungskurven.....	41
5.1.4	IR-Spektrometrie - Prinzip der stoffrelevanten Infrarotabsorptionsmessung.....	42
5.1.5	Gassensorik - Prinzip der stoffunspezifischen Messsignalerzeugung.....	44
5.1.6	Gaschromatographie - Prinzip der sequentiellen Trennung verdampfbarer Stoffe.....	45
5.1.7	GC/MS-Kopplungen - Prinzip der Detektion von Fragmentmustern.....	47
5.1.8	Röntgenfluoreszenz - Prinzip der Anregung charakteristischer Röntgenstrahlung	49
5.1.9	Drucksondierung - Prinzip der Aufnahme von Vertikalprofilen (Geologie und Chemie).....	51
5.1.10	Biolumineszenzverfahren - Prinzip der Chemolumineszenzmessung.....	53
5.2	Geophysikalische Methoden zur Untersuchung von Altstandorten und Altablagerungen.....	54
5.2.1	Geoelektrik.....	56
5.2.2	Eigenpotenzialmethode.....	57
5.2.3	Induzierte Polarisation.....	58
5.2.4	Georadar.....	59
5.2.5	Elektromagnetische Zweispulensysteme.....	60
5.2.6	Transientelektromagnetisches Verfahren und Metalldetektor EM61-Gerät.....	61
5.2.7	Radiomagnetotellurik (RMT), VLF und VLF-R (Very Low Frequency Resistivity).....	62
5.2.8	Geomagnetik.....	63
5.2.9	Gravimetrie.....	64
5.2.10	Seismik.....	65
6	Literatur und Internetlinks.....	66
	Internetlinks (ohne Gewähr und Anspruch auf Vollständigkeit).....	69

1 Einleitung

Der hohe Flächenverbrauch in Deutschland führt zu erheblichen städtebaulichen und ökologischen Problemen. Zahlreiche Initiativen, Forschungsprojekte und Beiräte befassen sich mit der Erarbeitung von Vorschlägen, konkreten Maßnahmen, Lösungsansätzen und Strategien zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. Einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme leistet die Wiedernutzung brachliegender Industrie-, Gewerbe-, Bahn- und Konversionsflächen. Diese Flächen stellen insbesondere in Ballungsräumen und Metropolregionen nach wie vor wichtige Flächenpotenziale für die Stadtentwicklung dar. Die Entwicklung dieser Flächen, die oft eine hohe Lagegunst aufweisen, stellt große Herausforderungen an alle Akteure im Revitalisierungsprozess. Allerdings bleiben viele Flächenpotenziale jahre- oder jahrzehntelang ungenutzt, weil strategische Konzepte und risikomindernde Instrumente zu deren Wiedernutzung zu wenig bekannt sind oder nur ungenügend genutzt werden.

Neben immissions- und artenschutzrechtlichen Fragestellungen sind Ungewissheiten über mögliche Bodenkontaminationen und Untergrundverhältnisse sowie ein daraus ggf. resultierender Sanierungsbedarf ein Haupthemmnis bei der Wiedernutzung von Brachflächen. Kaufinteressenten ebenso wie Grundstückseigentümer und Investoren benötigen verlässliche Informationen über mögliche Bodenverunreinigungen und die Verhältnisse im Untergrund (Fundamentreste, Tanks, Leitungen etc.) von Brachflächen. Die Befürchtung langwieriger und kostenintensiver Standortuntersuchungen schreckt viele Grundstückseigentümer und Investoren vor der Wiedernutzung einer Brachfläche ab.

Untersuchungsmethoden, die möglichst flächendeckend und Zeit bzw. Kosten sparend altlastenbedingte Restriktionen aufzeigen, können einen Beitrag zur Beschleunigung der Revitalisierung von Brachflächen leisten. Kommunen, die Altlasten- und Brachflächenkataster erstellen oder die Vermarktung kommunaler Brachflächen betreiben, könnten Vorteile aus solchen Untersuchungsmethoden ziehen und darauf aufbauend Stadtentwicklungskonzepte und Nutzungsüberlegungen zielführender entwickeln.

Als Ergebnis eines Untersuchungsvorhabens des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz entstand der vorliegende Leitfaden „Innovative Untersuchungsstrategien - Vor-Ort-Untersuchungen auf Altstandorten und Altablagerungen zur Unterstützung des Flächenrecyclings“. Er beschreibt Strategien, Verfahrensweisen und Methoden, die für eine einzelfallbezogene Untersuchung einer Brachfläche zur Verfügung stehen und zeitnahe Ergebnisse als Grundlage für behördliche Entscheidungen und die Entscheidungen Privater liefern können.

Diese Beschreibungen und Empfehlungen umfassen:

- Organisatorische und personelle Voraussetzungen zur beschleunigten Untersuchung einer Brachfläche.
- Verfahren der Vor-Ort-Untersuchung
- Ein DV-gestütztes Hilfsmittel zur Auswahl geeigneter Untersuchungsmethoden im Einzelfall unter Berücksichtigung der Beschaffenheit des Bodens bzw. Untergrundes
- Ein Beispiel eines DV-gestützten Hilfsmittels zur Vernetzung der ermittelten Untersuchungsbefunde und zur Darstellung des Schadstoffpotenzials in Kombination mit einer dreidimensionalen Visualisierung des untersuchten Untergrundes

Da eine sachgerechte Untersuchung einer Fläche stets auf den Einzelfall abzustellen ist, gibt der Leitfaden keine Empfehlungen für eine Standardvorgehensweise.

In Kapitel 2 werden Untersuchungsstrategien beim Einsatz der Vor-Ort-Untersuchung beschrieben. Diese Beschreibung basiert auf Erkenntnissen aus dem EU-Projekt „**Network Oriented Risk assessment by In-situ Screening of Contaminated sites**“ (NORISC) und berücksichtigt nationale und internationale Erfahrungen bei der Untersuchung von Brachflächen.

Im Rahmen des Untersuchungsvorhabens wurden beispielhaft an einem typischen Altstandort der metallverarbeitenden Industrie Vor-Ort-Untersuchungsverfahren eingesetzt und diese Vorgehensweise mit der „klassischen“ Untersuchung des Standortes verglichen. Der Standort wies nur ein geringes Kontaminationspotenzial auf. Ziel dieses Feldversuchs war, das Zusammenspiel und die Strategien bei der Anwendung von Vor-Ort-Untersuchungsverfahren praxisorientiert zu testen und die Aussagequalität der Untersuchung zu bewerten. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Kapitel 3 zusammengestellt.

In Kapitel 4 werden die zusammengetragenen Erkenntnisse und Erfahrungen zusammengefasst und Handlungsempfehlungen für vergleichbare Untersuchungen formuliert.

Kapitel 5 beinhaltet Kurzbeschreibungen wichtiger bzw. praxisrelevanter Vor-Ort-Untersuchungsverfahren für die Medien Boden, Bodenluft und Grundwasser sowie die Darstellung ihrer Eignung.

Auf innovative Probenahmeverfahren für Boden, Bodenluft und Grundwasser wird nur in Kapitel 5.1.9 (Drucksondierung) hingewiesen (genauere Beschreibungen in z.B. Handbuch der Bodenuntersuchung, altlastenforum Heft 11, KORA Handlungsempfehlungen, Rasemann, 2005). Probenahme und Untersuchung von Bodenluft werden in der VDI Richtlinie 3865 beschrieben

In Kapitel 6 werden Literaturhinweise und Links zu weiterführenden Fachinformationen gegeben. Dort finden sich auch Hinweise zu DV-gestützten Hilfsmitteln zur Auswahl von standort geeigneten Untersuchungsmethoden sowie zur Darstellung des ermittelten Schadstoffpotenzials bereits im Gelände.

Im Verlaufe der Bearbeitung des Untersuchungsvorhabens des LANUV wurde es für notwendig erachtet, die Adressaten des Leitfadens, insbesondere die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der kommunalen Verwaltungen, der Landesverwaltung und aus Gutachterbüros, über Inhalt und Ziel des Vorhabens zu informieren und deren Erfahrung bei der Untersuchung und Aufbereitung von Brachflächen bei der Erarbeitung des Leitfadens einzubeziehen. Aus diesem Grunde fand am 9. April 2008 im Kölner Stadthaus eine Informationsveranstaltung mit dem Thema „Innovative Untersuchungsstrategien zur Unterstützung des Flächenrecyclings“ statt, an der über 80 Personen der vorgenannten Institutionen teilnahmen. Die Veranstaltung insgesamt diente der Vermittlung von Informationen über Methoden zur Untersuchung von Brachflächen, dem Austausch von Erfahrungen sowie der Identifizierung von Problemen bei der angestrebten Wiedernutzung von Brachflächen. Im ersten Teil der Veranstaltung wurden Verfahren und Strategien zur Untersuchung von Brachflächen vorgestellt, im zweiten Teil wurden Workshops zu folgenden Themenbereichen durchgeführt:

1. Innovative Strategien beim Flächenrecycling
2. Praxiserprobte Methoden der Untersuchung (Gerätetechnik)
3. Einsatz von Software zur Auswahl von Methoden und Vor-Ort-Visualisierung der Ergebnisse.

Im ersten Workshop wurden fachliche, organisatorische und personelle Aspekte der Abwicklung eines Flächenrecyclingprojektes diskutiert. Besonders betont wurden die besonderen Anforderungen an einen verantwortlichen und befugten Gutachter, der die Untersuchung von Belastungen im Boden und Grundwasser übergeordnet koordinieren sollte, sowie die Untersuchungsbeefunde im Hinblick eine Wiedernutzung bewertet und ggf. notwendige Maßnahmen als Voraussetzung für eine Wiedernutzung ermittelt und empfiehlt.

Im zweiten Workshop, dem „Methodenworkshop“, wurden

- verfügbare Untersuchungstechniken für die Medien Boden, Bodenluft und Grund-/Sickerwasser für anorganische und organische Parameter und
- die Anwendungs- bzw. Leistungsgrenzen dieser Messtechniken vorgestellt sowie
- die Voraussetzungen zur Akzeptanz solcher Messtechniken und der mit ihnen erzielten Untersuchungsbefunde diskutiert.

Der Methodenworkshop zeigte, dass die gegenwärtige Gerätetechnik praxiserprobte, robuste und fragestellungsorientierte instrumentelle Analysemethoden für die vielschichtigen Messaufgaben der Vor-Ort-Analytik bereithält. Mit der gegenwärtig verfügbaren Vor-Ort-Analysentechnik kann den komplexen Anforderungen, die sich aus der zu untersuchenden kombinatorischen Parameter- und Materialvielfalt ergibt, Rechnung getragen werden. Die zeitnah vorliegenden Analyseergebnisse ermöglichen es, flächencharakterisierende Aussagen über relevante Schadstoffpotenziale zu erhalten, die auch als Grundlage für die Festlegung weiterer gezielter Erkundungsschritte dienen. Die aktuell verfügbare Vor-Ort-Untersuchungstechnik verbessert zusammen mit der „klassischen Laboranalytik“ die Aussagekraft erheblich, da bereits im Gelände umfassende Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse über die Standortsituation dem Gutachter zur Verfügung stehen.

Im dritten Workshop zum Softwareeinsatz wurden DV-gestützte Hilfsmittel zur Auswahl von Untersuchungsverfahren im Einzelfall sowie eine in der Entwicklung befindliche Visualisierungssoftware vorgestellt. Die Diskussionen mit den Teilnehmern zeigten, dass spezifische wissensbasierte Datenbanken nicht nur für Fachleute, sondern auch als Erstinformation für Nicht-Fachleute sehr interessant sein können. Herausgehoben wurden auch die Bedeutung und das Interesse an einer geeigneten 3D-Visualisierungssoftware.

Insgesamt zeigten die Informationsveranstaltung und die Diskussionen in den Workshopgruppen, dass im Bereich der Untersuchung von Brachflächen Verbesserungspotenzial vorhanden ist und angepasste Untersuchungsstrategien das Flächenrecycling unterstützen können. Weiterhin wurde die Bedeutung eines Leitfadens für die unterschiedlichen Nutzergruppen im Bereich „Flächenrecycling“ betont:

- Für Behörden und Gutachter stellt ein solcher Leitfaden eine wichtige Informationsquelle für geeignete Untersuchungsverfahren und -strategien dar.
- Für Investoren können an Hand eines Leitfadens die Möglichkeiten zur beschleunigten Untersuchung von Brachflächen im Rahmen des Flächenrecyclings aufgezeigt werden.

2 Die innovative Untersuchungsstrategie

2.1 Inhalt und Ziel

Die Schadstoffverteilung auf Altstandorten und Altablagerungen ist in der Regel heterogen. Dies liegt zum Teil in der ungleichen Verteilung von Schadstoffen in Auffüllungsmaterialien begründet, z. T. aber auch daran, dass produktionsbedingte Tätigkeiten mit kontaminationsrelevanten Stoffen nur in den wenigsten Fällen flächige Verunreinigungen verursacht haben. Eines der Kernprobleme, welches wesentlichen Einfluss auf die nachfolgende Untersuchung und damit auf die Bewertungsgrundlagen hat, ist die Gewinnung von „flächencharakterisierenden“ Proben. Die in der Praxis häufig vorzufindenden Belastungsschwerpunkte, im Verhältnis zur Größe der Gesamtfläche meist kleinräumige Bereiche, sind durch noch so vertiefte historische Erkundungen und punktuelle Untersuchungen nicht mit letzter Sicherheit zu lokalisieren. Es muss deshalb angestrebt werden, das Restrisiko durch eine geeignete Untersuchungsstrategie zu minimieren.

Das wesentliche Ziel dieser innovativen Untersuchungsstrategie ist die flächencharakterisierende Beurteilung eines Standortes mit hoher Aussagekraft wenn möglich in einem Untersuchungsschritt. Dies kann durch den Einsatz geophysikalischer Untersuchungsverfahren zur Einschätzung der Untergrundverhältnisse und, darauf aufbauend, durch die Entwicklung und Umsetzung eines Probenahmekonzeptes in Verbindung mit den Vor-Ort-Untersuchungsverfahren zur Bestimmung relevanter Schadstoffe sowie deren Verteilung erreicht werden.

Dabei liefern die geophysikalischen Untersuchungsverfahren Hinweise zu Anomalien und Informationen zur lokalen Festlegung für Rammkernsondierungen oder Drucksondierungen (direct push). Die Ergebnisse der Vor-Ort-Messtechnik, ergänzt um die der konventionellen Laboranalytik, liefern aussagekräftigere Erkenntnisse über die Schadstoffverteilung auf einer Fläche, als der abschließliche Einsatz der Laboranalytik.

Die neuen Strategien ergänzen und erweitern die bisherige Vorgehensweise bei der Untersuchung von Altstandorten und Altablagerungen.

Diese Vorgehensweise erfordert von Beginn an eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Die Untersuchungsstrategie lässt sich vom fachlichen und vom Vergabeablauf wie folgt zusammenfassen:

1. Genaue Formulierung der Aufgabenstellung sowie Ausschreibung eines geschätzten Gesamtleistungsumfangs unter Berücksichtigung der notwendigen Flexibilität für Anpassungsmöglichkeiten der Untersuchungsmethoden und des –umfangs in Abhängigkeit des Erkenntnisfortschrittes (Reservepolster).
2. Beauftragung eines verantwortlichen Gutachters (Projektleiter), der im Verlaufe der Projektbearbeitung die für sinnvoll und notwendig erachteten standortspezifischen Einzelleistungen (insbesondere geophysikalische Untersuchungsverfahren, Sondierungen, Vor-Ort-Analysenverfahren, Laboranalytik) im Unterauftrag vergibt.
3. Ermittlung der geeigneten standortspezifischen Einzelleistungen durch diesen Gutachter (ggf. etwa unter Zuhilfenahme einer unterstützenden Fachsoftware, z.B. der NORISC Decision Support Software [siehe Kap. 2.2, Kap. 6])

4. Ausschreibung der Teilleistungen und Beauftragung der benötigten Subunternehmer zur Durchführung von geophysikalischen Untersuchungen, Bohrleistungen, Drucksondierverfahren, Vor-Ort-Messverfahren und von analytischen Untersuchungen im Labor
5. Planung des Arbeitsablaufes mit je nach vorgefundenen Untersuchungsergebnissen veränderbaren, auf einander aufbauenden weiteren Untersuchungsmaßnahmen mit inhaltlichen und zeitlichen Vorgaben.
6. Durchführung der Felduntersuchungen möglichst in einer Kampagne mit Eingabe der vor Ort erzielten Ergebnisse in ein Datenmanagementsystem, vorzugsweise eine Software zur digitalen Visualisierung dieser Daten, zur schnellen Entscheidung über die weitere Vorgehensweise.
7. Abgleich der vor Ort erzielten Untersuchungsergebnisse mittels Laboranalytik anhand geeignet gezogener Boden-/Grundwasser- bzw. Bodenluftproben gemäß den Vorgaben der Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999).
8. Projektabschluss und Erstellung der Berichtes zur Sachverhaltsermittlung einschließlich von Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise.

Für die Festlegung von Probenahmestellen können auch Ergebnisse aus einer geeigneten Vor-Ort-Analytik herangezogen werden. (Anhang 1 BBodSchV)

Diese Untersuchungsstrategie ist ein Beitrag zur Konkretisierung der Ausführungen in Anhang 1 der BBodSchV: „Für die Festlegung von Probenahmestellen können auch Ergebnisse aus einer geeigneten Vor-Ort-Analytik herangezogen werden“ (BBodSchV 1999).

Darüber hinaus ermöglichen die durch Vor-Ort-Untersuchung eindeutig auswählbaren Laborproben zusammen mit einem 3D-Bild der Untergrundverhältnisse eine Einschätzung von Entsorgungsmassen. Die Vorgehensweise hat unter anderem das Ziel, kostenintensive Nachuntersuchungen zu vermeiden.

Die hier beschriebene Untersuchungsstrategie führt dazu, dass im Vergleich zur konventionellen Vorgehensweise höhere Kosten für die Projektleitung anfallen, jedoch vergleichbare oder sogar niedrigere Kosten für die Gesamtuntersuchung. Der Kenntnisstand über die Fläche ist jedoch umfassender und bietet eine fundierte Grundlage für den Planungsprozess.

2.2 Voraussetzungen

Zentraler Punkt ist die Koordinierung der Arbeiten durch einen Projektleiter, der umfassende Fach- und Sachkenntnisse über die Vor-Ort-Untersuchungsverfahren hat.

Messtechnisch sind die Voraussetzungen zur Anwendung der innovativen Untersuchungsstrategie gegeben. Diese Vor-Ort-Untersuchungsmethoden sind in Kapitel 5 näher beschreiben. Eine Orientierungshilfe zur Auswahl geeigneter Methoden liefert die NORISC-Decision-Support-Software (NORISC-DSS), die über folgende Webseite verfügbar ist. http://www.norisc.info/download/NORISC_DSS.zip

Die qualifizierte Beurteilung von Messergebnissen aus Vor-Ort-Untersuchungen ermöglicht es, Schadstoffbelastungen einzugrenzen und nach visualisierter Vor-Ort-Auswertung flächencharakterisierende dreidimensionale Stoffverteilungen zeitnah im Gelände in Form einer Ergebnisdarstellung zu erhalten. Diese Erkenntnisse sind für die Entwicklung einer op-

Eine Kombination flächencharakterisierender geophysikalischer und punktueller Untersuchungsmethoden (Vor-Ort-Untersuchungen) sowie Laboranalysen ermöglichen eine schnelle, kostengünstige und nachhaltige Flächenuntersuchung.

timierten Probenahme- und Untersuchungsstrategie unerlässlich.

Ergebnisse von Vor-Ort-Messungen sind mit den Ergebnissen der konventionellen Laboranalytik lediglich relativ zu vergleichen. Absolute Vergleichbarkeit von Messergebnissen aus der Vor-Ort-Analytik mit denen der konventionellen Laborverfahren zu erzielen, entspricht nicht dem Charakter des Leistungsspektrums der meisten Vor-Ort-Messverfahren.

Eine ausschließliche Beurteilung von Vor-Ort-Untersuchungsergebnissen birgt ein Risiko, dass in seltenen Fällen Schadstoffpotenziale - bedingt durch die Messtechnik und das komplexe Probenmaterial - unerkannt bleiben können, woraus falsche Rückschlüsse für eine Risikoprognose gezogen werden könnten.

Im umgekehrten Fall ist zu beachten, dass bei der klassischen Vorgehensweise „hot-spots“ leicht übersehen werden können.

In den Fällen, in denen ein positives Messsignal bzw. ein positiver Befund ausbleibt, ist dieses „negative“ Ergebnis durch eine klassische Probenahme und genormte Analyse im Labor abzusichern, insbesondere im Hinblick auf eine Gefahrenbewertung nach festgelegten Rechtsvorschriften (z.B. BBodSchV). Die Vor-Ort-Messtechnik kann eine Richtschnur für die Auswahl von Proben für die Laboranalytik sein.

Die für den Einsatz der beschriebenen Strategie erforderlichen personellen und sachlichen Voraussetzungen sind nachfolgend zusammengestellt:

Personelle Voraussetzungen

Gutachterbüros:

Der Schwerpunkt der Tätigkeit des Projektleiters besteht in der Auswahl der Untersuchungsverfahren, der inhaltlichen und zeitlichen Organisation der Untersuchungen insbesondere der Koordination der einzelnen Untersuchungsschritte, der Bewertung der Untersuchungsbefunde sowie der Koordinierung der Subunternehmer. Mitarbeiter der Gutachterbüros benötigen Kenntnisse über die einsetzbaren Vor-Ort-Untersuchungen für die verschiedenen Wirkungspfade inkl. ihrer Einsatzgrenzen und ihrer Unterschiede zu den in der BBodSchV vorgegebenen Laboruntersuchungen.

Behörden:

Die behördliche Akzeptanz dieser Vorgehensweise kann nur erreicht werden, wenn die Behörde überzeugt ist oder wird, dass die notwendigen fachlichen und bodenschutzrechtlichen Standards eingehalten werden. Dies gilt insbesondere im Falle von Maßnahmen zur Gefahrenbeurteilung. Falls die Untere Bodenschutzbehörde Auftraggeber ist, muss diese beziehungsweise auch das zuständige Rechnungsprüfungsamt damit einverstanden sein, die Ausschreibung und Vergabe der Unteraufträge in die Hand des Projektleiters zu geben. Vom Projektleiter erfordert dies ein optimales Controlling. Einzelheiten hierzu sind vorher insbesondere mit dem Rechnungsprüfungsamt abzustimmen.

Im Falle von Maßnahmen zum Flächenrecycling wäre es förderlich, wenn die Planungsbehörden oder kommunale Grundstücksverwaltungen ebenfalls Kenntnisse über die Einsatzmöglichkeiten der Vor-Ort-Untersuchungen hätten. Weiterhin sollten sich Planungsbehörden bereits während des Planungsprozesses frühzeitig mit der zuständigen Umweltbehörde abstimmen.

Investoren / Verkäufer:

Diese Gruppe von Beteiligten wird den Einsatz der Vor-Ort-Untersuchungen nur dann weiterverfolgen bzw. konkret planen, wenn diese Vorgehensweise von der zuständigen Behörde akzeptiert wird. Deshalb sind eine frühzeitige Abstimmung mit dieser Behörde und die Darlegung der technischen und finanziellen Vorteile erforderlich.

Sachliche Voraussetzungen:

Das Vorliegen einer gründlichen historischen Recherche ist eine zwingende Voraussetzung, um die Untersuchungsstrategie planen zu können. Leistungsfähige, nachweisstarke und den Erfordernissen der BBodSchV entsprechende Vor-Ort-Untersuchungsverfahren müssen zur Verfügung stehen. Eine direkte Visualisierung der Ergebnisse erleichtert das weitere Vorgehen und führt zur Reduzierung von Untersuchungskosten.

2.3 NORISC DSS – Beispiel für eine unterstützende Software zur Auswahl von Untersuchungsmethoden

Im Rahmen des von der Stadt Köln und der Universität zu Köln im Jahre 2000 initiierten EU-Projektes NORISC wurde ein Ansatz entwickelt, der die Basis für die in diesem Leitfaden vorgeschlagene Vorgehensweise bildet. Anlass des Projektes war der zunehmende Flächenverbrauch in der EU und der zunehmende Druck auf die Grünflächen. Ziel des Projektes war die Entwicklung von Kriterien und Methodenkombinationen für eine optimierte Untersuchung von Altstandorten und Altablagerungen. Dies sollte auf der Basis der bekannten Kontaminationsprofile vorgenuetzter Flächen und der Gesetzeslage in den EU-Staaten sowohl mittels „klassischer“ Verfahren als auch marktverfügbarer innovativer oder seltener eingesetzter Untersuchungsmethoden geschehen.

Die einzelnen Schritte der NORISC-Strategie sind:

- Auftragsvergabe an einen Generalgutachter
- Auswahl und zentraler Einkauf optimaler Methoden
- Interdisziplinäre Arbeit im Feld
- Flächendeckende Aussagen über Belastungen und Hindernisse
- Unmittelbare Visualisierung und die damit verbundene direkte und zeitnahe Steuerung der Untersuchungsschritte (mit Vor-Ort-Analytik zur Aufsuche und Ersterkennung von Herden)
- Detailuntersuchung und Laboranalytik mit abschließender Bewertung

Nähere Details sind dem Link http://www.norisc.info/download/NORISC_DSS.zip zu entnehmen.

Im NORISC-Projekt wurden fachlich-wissenschaftliche Kriterien wie typische Schadstoffspektren, Prüfwertvorgaben, Nachweisgrenzen und Einsetzbarkeit von Methoden, aber auch Faktoren wie Marktverfügbarkeit, Beitrag zur Minimierung des Restrisikos, Kosten und Zeitaufwand bei der Auswahl anzuwendender Methoden berücksichtigt. Die hierzu durchgeführten Recherchen und Studien waren sehr umfangreich und erstreckten sich über mehrere Jahre. Eines der Ergebnisse war die Zusammenfassung dieser Erkenntnisse in einer sog. Decision Support Software (DSS). Die NORISC-DSS ist ein EDV-Tool, welches es dem Anwender erlaubt, eine für die Untersuchung der vorliegenden Fläche optimierte Methodenkombination zu erarbeiten.

Die NORISC-DSS fügt sich sehr gut in die klassische Vorgehensweise ein, da als Input vor allem Informationen benötigt werden, die stets vor dem Beginn einer technischen Untersuchungsphase vorliegen müssen. Dazu zählen neben dem Zweck der Untersuchung und den zu untersuchenden Umweltmedien (Boden/Grundwasser) auch Flächengröße und die Ergebnisse aus Voruntersuchungen, wie der „Historischen Recherche“. Damit liegen erste Angaben hinsichtlich des potenziellen Kontaminationsprofils vor. Die Eingaben erfolgen schrittweise, wobei von der Software alle notwendigen Angaben für die Auswahl von Untersuchungsmethoden abgefragt werden. Dazu zählen insbesondere auch Informationen, die die Anwendung bestimmter Methoden ausschließen oder deren Aussagekraft einschränken (z.B. Untergrundverhältnisse).

Als Ergebnis liefert die Software eine Kombination von Methoden, die eine schnelle und kostengünstige Untersuchung der Fläche ermöglichen. Die endgültige Auswahl von Methoden, deren Kombinationsmöglichkeiten und die Einbindung in das Untersuchungskonzept bleiben dem Anwender vorbehalten.

Die praktische Anwendung der Strategie und der wichtigen Bausteine, wie geophysikalische Untersuchungen, Vor-Ort-Analytik, DSS und 3D-Visualisierungs-Software, wurden an 4 Standorten mit bekannter Kontaminationssituation in Europa getestet. An allen 4 Standorten konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Es lagen klare Aussagen über Verteilungsmuster der Kontaminationen nach den Untersuchungen vor. Sowohl die Kosten als auch die Bearbeitungszeit waren deutlich geringer als bei herkömmlicher Vorgehensweise.

2.4 Triad – Ansatz der US-EPA

Die Einbindung von Vor-Ort-Untersuchungsmethoden bei der Untersuchung von Flächen wurde in den letzten Jahren auch von der US-Umweltbehörde EPA weiter verfolgt und weiter entwickelt. Der dort entwickelte strategische Ansatz nennt sich TRIAD Approach (Dreiebenen-Näherung), dient der schnellen, kosteneffektiven und qualitätsgesicherten Erfassung von Altlastenschadensfällen und der optimierten Sanierung von Altlasten (www.triadcentral.org). Er besteht aus den drei miteinander verflochtenen Bausteinen:

1. Systematische Planung
2. Dynamische Vorgehensweisen
3. Echtzeitmessstrategien vor allem Feldmesstechniken (hier: Vor-Ort-Untersuchungen)

Zugrunde liegt dieser Vorgehensweise ein systematischer Planungsprozess, in dem das Konzept der Conceptual Site Models (CSM) bereits in der Planungsphase mit allen Projektbeteiligten erarbeitet wird. In einem ersten systematischen Planungsschritt werden die Projektgrundlagen detailliert erarbeitet, um darauf aufbauend eine auf die Fläche angepasste Untersuchungsstrategie zu entwickeln. Datenlücken werden im Untersuchungsablauf geschlossen. Diese Vorgehensweise ermöglicht die kosteneffiziente Untersuchung einer Fläche.

Der zweite Baustein ist die dynamische bzw. flexible Vorgehensweise. Während der Untersuchungsphase werden Informationen generiert, die eine Anpassung der Untersuchungsstrategie sinnvoll oder notwendig erscheinen lassen. Die Ausführenden müssen (technisch und wirtschaftlich) in die Lage gebracht werden, solche Anpassungen zu erkennen und durchzuführen. Dies erfordert nicht nur Flexibilität auf Seiten der Ingenieurbüros, sondern auch eine entsprechend flexibel formulierte Beschreibung der zu erbringenden Leistungen in der Ausschreibung.

Das wichtigste Modul besteht aus geophysikalischen Methoden und Vor-Ort-Untersuchungsverfahren. Nur durch die mittels der vorgenannten Verfahren ermittelten Informationen ist eine Anpassung des Untersuchungskonzeptes und damit eine kosteneffiziente und inhaltlich möglichst optimale Untersuchung möglich.

Durch die verbreitete Anwendung des Triad-Konzeptes und paralleler Maßnahmen in den USA, wie z.B. das Environmental Technology Verification (ETV) Programm, einer Art Methoden-TÜV, gibt es dort umfassende Erfahrungen im Umgang mit diesen neuen Strategien. Vergleichbare Ansätze gibt es zurzeit auch über ein EU-Projekt (www.promote-etv.org).

Dynamische Arbeitspläne und Vorgehensweisen führen, meist verbunden mit Vor-Ort-Analytik, zu einer besser an die jeweilige Fläche adaptierten Vorgehensweise. Die EPA gibt bei sorgfältiger Planung und Durchführung solcher Projekte Ersparnisse von 30-50% der Projektkosten an. Vergleichbare Größenordnungen wurden auch auf den im Rahmen des NORISC-Projektes untersuchten Testflächen erzielt. Die erreichbare Zeitersparnis ist zum Teil noch wesentlich höher.

Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass Remobilisierungen (von Geländeteams) wie im Rahmen von Detailuntersuchungen, aber auch wiederholt notwendige Abstimmungen entfallen können. Weiterhin kann die Laboranalytik zielgerichteter eingesetzt werden.

Diese dynamische oder flexible Vorgehensweise produziert nicht nur nach US-amerikanischen Erfahrungen, sondern auch bei in Europa durchgeführten Projekten detailliertere und verlässlichere Standortuntersuchungsergebnisse. Die unmittelbare Ergebnisgewinnung und deren optische Umsetzung im Gelände erlaubt, Datenlücken sofort zu erkennen und Schritte zur weiteren Sachverhaltsaufklärung umgehend einzuleiten.

Die amerikanische Triad-Strategie mit ihren klassischen und innovativen Methoden entspricht dem Grundgedanken des NORISC-Projektes und dieses Leitfadens.

3 Feldversuch zur praktischen Anwendung

3.1 Auswahl des Standortes und Umfang der Untersuchungen

Für den Feldversuch wurde eine Fläche ausgewählt, die eine Herausforderung für die anzuwendenden Methoden und Verfahren darstellen würde:

- Hoher Versiegelungsgrad
- Unbekannte Leitungsverläufe
- Mäßige Verunreinigungen der zu untersuchenden Umweltmedien

Als Untersuchungsfläche wurde seitens der Stadt Köln ein Teilareal eines ehemaligen metallverarbeitenden Betriebes vorgeschlagen. Diese Fläche wurde bereits Ende der neunziger Jahre hinsichtlich der Altlastenrisiken untersucht und zwischenzeitlich noch keiner neuen Nutzung zugeführt.

Diese vorgenannten früheren Untersuchungen entsprachen der üblichen Vorgehensweise:

- Historische Recherche
- Festlegung der Bohransatzpunkte auf der Grundlage der historischen Informationen
- Bohrkampagne mit Probennahme an den ermittelten Rasterpunkten
- Untersuchung der Proben auf Schadstoffe mit Laboranalytik
- Ggf. eingrenzende Bohrungen und erneute Analysen

Durch weitere Bohrungen wurden die Schadstoffherde an einzelnen Stellen bei der damaligen Untersuchung weitgehend eingegrenzt. Der Zeitaufwand und die Genauigkeit der Abgrenzungen wurden somit von der Qualität der historischen Recherche und der durch die Finanzmittel gesteuerten Anzahl von Bohrungen beeinflusst.



Abbildung 1: Luftbild der grün dargestellten Untersuchungsfläche mit hohem Versiegelungsgrad (Quelle Google Maps®)

Von der Stadt Köln wurden im Vorfeld der Felduntersuchungen lediglich die Ergebnisse der historischen Recherche zum Standort zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der Ende der neunziger Jahre durchgeführten orientierenden Untersuchung wurden erst nach Abschluss der Felduntersuchung dem Auftragnehmer zum Abgleich übergeben.

Vorrangiges Ziel der durchzuführenden Untersuchungen im Rahmen des Feldversuchs mittels Vor-Ort-Untersuchung war es, das Zusammenspiel und die Strategien bei der Anwendung von Vor-Ort-Untersuchungsverfahren praxisorientiert zu testen. Es wurde im Rahmen des Feldversuchs nicht angestrebt, die gewonnenen Ergebnisse unmittelbar mit den Ergebnissen der früheren Untersuchung zu vergleichen. Dieser Vergleich wäre schon aufgrund der Probenungleichheiten und der dazwischen liegenden Zeitspanne nicht möglich. Vielmehr sollten Optimierungsmöglichkeiten der zeitlichen Abläufe und die Möglichkeiten, mit einer verfeinerten Strategie und der Vor-Ort-Untersuchung zielgenaue Ergebnisse zu erarbeiten, unter Beweis gestellt werden.

Die Untersuchung im Rahmen des Feldversuchs sollte in folgenden Schritten ablaufen:

- Auswertung der historischen Recherche von einem Projektleiter
[Der Projektleiter ist das Verbindungsglied zwischen Auftraggeber und der Gruppe der Auftragnehmer für die technischen Geländearbeiten. Er organisiert den Geländeeinsatz und bewertet die Ergebnisse. Er legt an Hand der durch die Vor-Ort-Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse die weitere Vorgehensweise bzw. weitere Untersuchungsschritte fest].
- Einsatz der NORISC-DSS mit dem Ziel, Methodenvorschläge zu ermitteln, aus denen die zur Anwendung kommenden Untersuchungsmethoden vom Projektleiter ausgewählt werden
- Beauftragung der Anbieter der ausgewählten Methoden
- Aufstellung eines Zeitplans
- Interdisziplinäre Vor-Ort-Untersuchungen mit direkter Datenerfassung und Visualisierung
- Unmittelbare Anpassung weiterer Untersuchungsschritte an vorliegende Untersuchungsergebnisse

Nach Auswertung der historischen Daten wurde im Vorfeld der eigentlichen Felduntersuchung die NORISC-DSS (Decision Support Software) als Planungshilfe hinzugezogen. Diese Software ermöglicht dem Anwender die Eingabe der für die Untersuchung relevanten Flächencharakteristika, wie Flächengröße, historische Nutzung, zu untersuchende Medien (Boden, Grundwasser), aber auch bekannter Hindernisse in einem interaktiven Prozess. Im Wesentlichen werden die Daten eingegeben, die vor der Planung einer orientierenden Untersuchung einer Fläche bekannt sind. Unter zu Hilfenahme umfangreicher im Laufe des NORISC-Projektes recherchierter und evaluierter Verfahren und Verfahrenskombinationen, empfiehlt die Software dann nach einer Verschneidung der Geländecharakteristika mit den methodeneigenen Anforderungen mehrere nach Eignung gestufte Kombinationen von Untersuchungsverfahren.

Die NORISC-DSS ermittelt geeignete Methodenkombination zur Untersuchung eines Standortes.

Dem Sinn einer Decision Support Software entsprechend, kann der Anwender (in diesem Fall die Projektbeteiligten) diese Vorschläge an die Projektsituation weiter anpassen (technisch und ökonomisch).

Im konkreten Fall wurde von der DSS zum Beispiel an erster Stelle empfohlen, Geomagnetik als für die Fragestellungen auf der Untersuchungsfläche günstigstes geophysikalisches Verfahren einzusetzen. Im Rahmen der Projektplanung zeigte sich, dass eine Georadaruntersuchung mit einem noch höheren Informationsgewinn zu gleichen Kosten beauftragt werden konnte. Entsprechend wurde das Untersuchungskonzept angepasst. Vergleichbares gilt für die geplante Vor-Ort-Messung von organischen Schadstoffen. Die im Rahmen eines internationalen Projek-

tes im Jahr 2003 fertig gestellte Methodenmatrix enthält noch einzelne Methoden, die inzwischen nicht mehr dem Stand der Analysetechnik entsprechen, z.B. die Bestimmung von MKW-Gehalten mittels IR-Spektroskopie (DIN 38409-18). In einem solchen Fall ist es Aufgabe des Projektleiters, entsprechende Ersatzverfahren auszuwählen, die von der NORISC-DSS jedoch häufig bereits als Alternative aufgeführt werden. Dies war in diesem Fall die mobile Gaschromatographie-Massenspektroskopie (GC-MS).

Eingabedaten in die DSS und deren Ausgabedaten wurden zwischen den Projektbeteiligten diskutiert und auf die Projektgegebenheiten angepasst. Die Vorgehensweise für die Untersuchungen wurde festgelegt.

Folgende Untersuchungsschritte wurden geplant:

1. Vorerkundung durch eine Georadar-Untersuchung:

Da das zu untersuchende Gelände fast komplett versiegelt ist und mit Bohrhindernissen (durch Unterkellerung, grobe Auffüllungen) zu rechnen war, sollten mit dem Georadar die Mächtigkeit der Versiegelung und mögliche Anomalien im Boden, wie z. B. Bohrhindernisse und sonstige Inhomogenitäten (Hohlräume, Kampfmittel, auffällige Schichtwechsel oder Leitungen/Fässer) erkundet werden.

Ein wesentlicher Punkt der Planungsphase ist die Klärung und Festlegung von Schnittstellen zwischen den eingesetzten Messgeräten und der Auswerteeinheit.

2. Bohransatzpunkte:

Nach der Auswertung der Georadardaten sollten verknüpft mit den Erkenntnissen der historischen Recherche die Bohransatzpunkte festgelegt werden. Die eigentlichen Aufschlüsse/Probenahmen sollten mittels Kleinrammbohrungen durchgeführt werden. Wegen der Versiegelung des Geländes wurden Vorkernungen eingeplant.

3. Vor-Ort-Analytik:

Direkt nach Probenahme sollten die entnommenen Boden- und Bodenluftproben auf die dem Kontaminationspotenzial entsprechenden Schadstoffe untersucht werden. Als relevant wurden folgende Parameter ermittelt: Schwermetalle, LHKW, BTEX, MKW und PAK im Boden, sowie LHKW und BTEX in der Bodenluft. Als geeignete und marktverfügbare Verfahren wurden hierzu die mobile Röntgenfluoreszenz (RFA) für die Schwermetallanalytik sowie die mobile GC-MS für die organischen Parameter ausgewählt.

4. Koordination vor Ort und Visualisierung

Die erzielten Ergebnisse der Schritte 1-3 sollten direkt in eine Visualisierungssoftware übertragen werden, um den Projektleiter vor Ort bei der zeitnahen Beurteilung der Ergebnisse zu unterstützen.

Eine Untersuchung des Grundwassers war im Rahmen des Feldversuches nicht geplant.

Teamzusammensetzung:

Angestrebt und realisiert wurde der zeitlich parallele Einsatz von Fachleuten verschiedener Fachdisziplinen.

- Projektleiter/Geologen: Projektleiter der ET&T GmbH mit Erfahrung im Bereich Vor-Ort-Methoden und Anwendung der NORISC-DSS sowie erfahrener Geologe der Firma IBL Umwelt- und Biotechnik GmbH, Heidelberg.
- Sondierungen/Rammkernsondierungen: LANUV NRW, Vorkernen der Asphalt- und Betondecken. Geowerkstatt Aachen.
- Georadaruntersuchungen: BGI-Ecotech AG, Niederlassung Bochum.
- Vor-Ort-Analytik: Mobile Elementanalytik mittels RFA [Röntgenfluoreszenzanalytik] durch Analyticon-Instruments, mobile GC/MS-Analytik durch Bruker-Daltonic.
- Visualisierung der Ergebnisse (im Feldversuch: Einsatz des Prototyps der „Envistigator-Software“, Firma Envisoft, Freinsheim).

3.2 Felduntersuchungen

Die Georadaruntersuchungen wurden am 24.10.07 durchgeführt, die sonstigen Felduntersuchungen begannen am 29.10.07 und endeten am 31.10.07.

Vorerkundung:

Als erster Untersuchungsschritt wurden am 24.10.07 Georadaruntersuchungen durchgeführt. Die Messungen dauerten etwa 0,5 Arbeitstage. Die Auswertung nahm weitere zwei Tage in Anspruch. Eine Übertragung der Daten in das vorgesehene Visualisierungstool konnte aufgrund von Schnittstellenproblemen nicht unmittelbar erfolgen. Dies war darauf zurückzuführen, dass die Software zur Auswertung geophysikalischer Untersuchungen nicht mit entsprechenden Schnittstellen zu anderen Programmen ausgestattet war. Dies führte dazu, dass die Informationsübertragung nur indirekt erfolgen konnte. Dieser Sachverhalt ist Anlass, die Entwicklung solcher Standards zum Datenaustausch in Form definierter Schnittstellen anzuregen (siehe auch Kap. 4)

Kommunikation 1:

Beim Feldversuch wurden die Ergebnisse der Georadaruntersuchungen dem die Untersuchung leitenden Geologen mündlich in einer Besprechung mitgeteilt. Mit Hilfe der Georadaruntersuchung konnte das Sondieraster den Inhomogenitäten der Untergrundverhältnisse angepasst werden. Aufgrund der entsprechend der Georadaregebnisse zu erwartenden Sondierhindernisse und hohen Versiegelungsmächtigkeiten wurde für die Sondierphase noch ein zweites Team zum Vorkernen eingeplant.



Abbildung 2: Georadaruntersuchung; Aufzeichnung von Profilen im 1m-Abstand

Bohrungen:

Trotz des Einsatzes dieses Teams konnten in den für die Untersuchung zur Verfügung stehenden 2,5 Arbeitstagen lediglich 12 RKS mit 42,5 Bohrmeter abgeteuft werden. Diese verhältnismäßig geringe Bohrmeterleistung ist darauf zurückzuführen, dass aufgrund der Vor-Ort-Analytik (GC/MS) ein lokaler Schaden erkannt worden war, der infolgedessen durch eine Verdichtung des Bohr- und Probenahmerasters intensiver bearbeitet werden musste.

Entsprechend dem Konzept der Vor-Ort-Analytik sollte dieser Schadensherd nämlich schon im ersten Untersuchungsschritt eingegrenzt werden, was zu einer notwendigen Verdichtung des Bohrrasters an Stellen mit (durch das Georadar bekannten) Sondierhindernissen führte. Hierbei wurde eine Verringerung der Bohrleistung zugunsten des Informationsgewinns durch die Untersuchungen in Kauf genommen.

Bodenansprache / Vor-Ort-Analytik:

Mobile RFA Messungen (Röntgenfluoreszenzanalytik)

Die Ansprache der Bodenprofile erfolgte durch den Geologen vor Ort, der auch die Vor-Ort-Analytik-Teams anleitete. Die Ergebnisse der Ansprache wurden unmittelbar nach Erhalt des Bohrkernes in entsprechende Formulare übertragen. Diese Übertragung stellte eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquelle dar.

Parallel dazu wurde der Bohrkern mittels handgehaltener RFA auf die Anwesenheit von Schwermetallen geprüft. Dies geschah ohne Probenvorbereitung direkt in der Bohrsonde und erfolgte sowohl in 10 cm Schritten an homogenen Bohrprofilabschnitten sowie an auffälligen Bohreinschlüssen im Bohrkern. Diese Vorgehensweise, bei der sich über mehrere Dezimeter erstreckende Schichten in kleinen Intervallen gemessen werden konnten, erzeugte ein klares

Belastungsbild der einzelnen Bohrprofile. Die Kalibrierung erfolgte unter Verwendung von Standardreferenzmaterialien. Die Messzeiten je Einzelmessung bewegten sich zwischen 5 und 55 Sekunden. Diese sind individuell einstellbar.

Dabei wurden halbquantitative Ergebnisse erhalten, da Körnigkeit (Rauigkeit der Oberfläche, Matrixzusammensetzung und Bodenfeuchte die Fluoreszenzausbeute beeinflussen. Für eine erste Einschätzung des Belastungsumfangs und der Festlegung der für die Laboranalytik bestimmten Proben ist dies jedoch ausreichend.



Abbildung 3: Schwermetallmessung mittels mobiler RFA ohne Probenvorbereitung direkt in der Sonde

Kommunikation 2:

Die Ergebnisse wurden zum einen vom Analytiker dem Geologen diktiert und von diesem in ein entsprechendes Formblatt eingetragen. Zum anderen wurden diese aber auch direkt aus dem RFA-Gerät in eine Excel-Tabelle ausgelesen und anschließend dem zweiten Feldbearbeiter (Projektleiter) zur Prüfung übergeben. Hierbei zeigten sich die Fehleranfälligkeit der nichtdigitalen Datenübergabe und die Notwendigkeit, Ergebnisse umgehend zu überprüfen. Es zeigte sich aber auch der große Vorzug der Vor-Ort-Untersuchungen, auffällige Ergebnisse sofort überprüfen zu können. Insgesamt wurden 107 Proben mittels RFA untersucht. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden einige Proben im Labor nach dem in der BBodSchV vorgegebenen Analyseverfahren gemessen.

Nichtdigitale Datenübergabe ist fehleranfällig und sollte vermieden werden.

GC-MS Messungen

Die Untersuchung auf organische Schadstoffkontaminationen erfolgte unter Nutzung einer mobilen GC-MS-Kopplung (Gaschromatograph-Massenspektrometer-Kopplung). Dabei wurden aus den Rammkernsonden direkt tiefenorientiert Bodenproben entnommen, etwa 10 g sofort in 10 ml Methanol eingewogen und nach einer schnellen Extraktion mit Zusatz von Bromfluorbenzol als internem Standard für die Wiederfindung 1 µl in den GC injiziert und gemessen. Für die Bodenluftuntersuchungen wurde in den mit den Rammkernsondierungen angelegten 5 cm Bohrlöchern in 4 m unter GOK jeweils 1l Bodenluft bei einem Volumenstrom von 100 ml/min integrierend entnommen (VDI Richtlinie 3865 Bl. 2, Variante 2). Die VOC in der Bodenluft wurden direkt auf einem Tenax TA-Sammelröhrchen angereichert, das sich in der Sondenspitze befand (Sondendurchmesser 2 cm). Das Sammelröhrchen wurde im GC-MS thermisch desorbiert und splittlos gemessen. Zur Kalibrierung wurde 1 µl Standardlösung in eine 250 ml Gasmaus gegeben und über ein Tenaxröhrchen 10 min mit 100 ml/min gesammelt.

Es wurden 28 Boden- und 9 Bodenluftproben untersucht. Ergebnisse lagen nach jeweils 15 Minuten vor. Die Bestimmungsgrenzen (sechsfache Standardabweichung des chromatographischen Untergrundes (Rauschen) nach Aufstockverfahren gemäß EURACHEM/CITAC GUIDE QUAM:2000.P1 für die Böden liegen bei ca. 10 – 20 mg/kg VOC in der bodenfeuchten Probe und für die Bodenluft bei ca. 0,1 mg/m³.

Die Ergebnisse wurden sowohl mündlich als auch digital übergeben. Während die Bodenproben, die durchgehend organoleptisch unauffällig waren, keine bemerkenswerten Schadstoffgehalte zeigten, wurde in einigen Bodenluftproben LHKW-Verunreinigungen festgestellt.

Durch die kurzfristige Vorlage der auffälligen Ergebnisse konnte durch eine nachfolgende Verdichtung des Bohr- und Messrasters eine unmittelbare Eingrenzung des Schadens trotz nicht vorhandener organoleptischer Auffälligkeiten durchgeführt werden.

Einige der Boden- und Bodenluftproben wurden zur Absicherung der Ergebnisse im Labor untersucht.

Kommunikation und Visualisierung 3:

Die geplante Visualisierung der vor Ort erzielten Ergebnisse war aufgrund von Schnittstellenproblemen zum Untersuchungszeitpunkt nicht möglich. Vor allem die Einbindung der Georadar-Profile bereitete große Probleme. Im Nachgang des Feldversuches wurden deshalb Anforderungen an die Schnittstellen neu definiert und Anpassungen an der Software vorgenommen. Die Anforderungen an Datenformate werden in Kapitel 3.3 und Kapitel 4.2 formuliert.

Die Übernahme internationaler Datenstandards und -formate ist für die Vermeidung von Schnittstellenproblemen wichtig.

3.3 Ergebnisse der Felduntersuchungen und Abgleich mit dem früheren Kenntnisstand

Auf der Fläche wurden geringmächtige Auffüllungen nachgewiesen, die teilweise noch Gebäudereste beinhalteten. Die gesamte Fläche war mit einer Betonschicht versiegelt.

Bei der Erstuntersuchung in der 90er Jahren (Gesamtdauer der Untersuchungen damals mit Abstimmungszeiten mehr als 12 Wochen) wurden in den Auffüllungen lokale Kontaminationen geringer Konzentration sowie Auffälligkeiten bezüglich der Umweltmedien Boden und Bodenluft vorgefunden. Die Auffüllungen zeigten während der damaligen Untersuchung keine organoleptischen Auffälligkeiten als Hinweis auf vorhandene Verunreinigungen.

Während die organischen Parameter MKW, PAK, PCB und Phenole im Boden des untersuchten Bereiches durchgängig unauffällige oder lediglich leicht erhöhte Gehalte zeigten, waren sowohl bei den Schwermetallen als auch bezüglich LHKW in der Bodenluft Auffälligkeiten festzustellen.

Festgestellt wurden Bleigehalte zwischen 5 mg/kg und 12.300 mg/kg, Kupfergehalte von 5 mg/kg bis 723 mg/kg und Zinkgehalte von 18 mg/kg bis 953 mg/kg.

Mobile RFA Messungen (Röntgenfluoreszenzanalytik)

Durch Messungen mit der mobilen Röntgenfluoreszenzanalytik direkt in der Sonde konnten geringmächtige, verunreinigte Schichten zuverlässig ermittelt werden. Hier zeigte sich, dass Lagen von kontaminiertem Material oft nur wenige Dezimeter mächtig und organoleptisch oft nicht von den umgebenden Schichten abzugrenzen waren. Die erzielten Ergebnisse ermöglichen die Separierung unterschiedlich stark belasteten Bodenmaterials, woraus sich eine Optimierung der Entsorgungsmassen und –kosten ergibt.

Zu Absicherung der Messergebnisse und um hinsichtlich der BBodSchV belastbare Ergebnisse zu erlangen, wurden einige mittels RFA gemessene Proben mit dem in der BBodSchV festgelegten Analyseverfahren im Labor des LANUV analysiert. Trotz unterschiedlicher Probenaufarbeitung und Messverfahren lagen die Ergebnisse in vergleichbarer Größenordnung.

Tabelle 1: Bleigehalte VOA-RFA und Laboranalytik

Sondierung	Tiefe	Pb-VOA	Pb-Labor
BR 1	1,3-1,4 m	572-619 mg/kg	(1,3-1,5m)
	1,4-1,5 m	2.015 mg/kg	1.900 mg/kg
BR 2	0,7-1,3 m	37-108 mg/kg	170 mg/kg
	1,3-1,4 m	367 mg/kg	550 mg/kg
BR 3	2,0-3,0 m	n.n.-38 mg/kg	15 mg/kg
BR 4	0,6-1,3 m	399-1.039 mg/kg	620 mg/kg
BR 5	1,0-2,0 m	115-123 mg/kg	130 mg/kg

Die tabellarische Zusammenstellung der Werte von Feld- und Labormessung beschränkt sich auf Proben mit erhöhten Bleigehalten. Die Messwerte für die anderen Metalle (Kupfer, Zink, Cadmium etc.) lagen deutlich unter den in der BBodSchV festgelegten Prüfwerten für Gewerbeflächen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die mobile RFA ohne Probenvorbereitung, wie Homogenisierung, Trocknung der Proben, Messung in RFA-Cups, etc. eingesetzt wurde. Diese Messungen sollten beim Feldversuch dazu dienen, einen Überblick über die Schwermetallverteilung zu erhalten. Die Ermittlung normenkonformer Analyseergebnisse zum Abgleich mit Prüfwertlisten konnte dann an einer deutlich reduzierten Probenanzahl erfolgen.

Die gute Vergleichbarkeit der Messwerte erlaubt es, durch eine große Anzahl von Untersuchungsbefunden in kurzer Zeit einen ausreichenden Überblick über die Schadstoffverteilung zu erhalten.

GC-MS Messungen

Die auf organische Parameter untersuchten Bodenproben zeigten weder bei der Vor-Ort-Untersuchung noch bei der als Absicherung durchgeführten Laboranalytik relevante Gehalte. Auffälligkeiten gab es lediglich hinsichtlich leichtflüchtiger Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW) in der Bodenluft.

Während die ersten untersuchten Bodenluftproben noch unauffällig waren, zeigte sich in der Bohrung BR 5 eine relativ hohe Summenkonzentration von $21,7 \text{ mg/m}^3$ LHKW. Leitparameter war hierbei Trichlorethen (TRI) mit 21 mg/m^3 . Aufgrund dieser Messwerte wurde zur Eingrenzung der Kontamination eine Anpassung des Sondierasters beschlossen. Weiterhin wurde beschlossen, die Messung einen Tag später zu wiederholen und am letzten Untersuchungstag eine abschließende Probenahme für die Laboranalytik durchzuführen.



Abbildung 4: Mobiles GC-MS-System zur Messung organischer Verbindungen

Bei den Ersterkundungen im September 1997 waren in diesem Bereich ebenfalls LHKW-Kontaminationen der Bodenluft mit 15 mg/m^3 festgestellt worden. Auch damals war TRI der Leitparameter. Eine Eingrenzung des auffälligen Bereiches war jedoch nicht möglich, da keine organoleptischen Auffälligkeiten bei der Probenahme feststellbar waren und die erhöhten LHKW-Gehalte erst nach Vorliegen der Laborergebnisse bekannt wurden.

Entsprechend wurde damals zusätzlich eine eingrenzende Detailuntersuchung geplant und im Januar 1998 durchgeführt. Der auffällige Bohrpunkt wurde mit 3 weiteren Sondierungen umgeben. Hierbei zeigten sich Gehalte von 2 mg/m^3 , 4 mg/m^3 und 20 mg/m^3 LHKW. Allerdings erlaubten auch diese Untersuchungsergebnisse keine Eingrenzung der Kontamination. Ob später noch eine Eingrenzung der Kontamination erfolgte, ist nicht bekannt.

Dieser Sachverhalt zeigt den Vorteil des Einsatzes der Vor-Ort-Untersuchungen. Aufwendige Nachuntersuchungen und damit zusätzliche Kosten und Zeitverzögerungen können vermieden werden.

Nachdem am ersten Tag des Feldversuches trotz organoleptischer Unauffälligkeit Verunreinigungen in der Bodenluft messtechnisch nachgewiesen wurden, konnten in der Folge zur Eingrenzung 7 weitere Sondierungen niedergebracht werden, an denen Bodenluft für die Vor-Ort-Untersuchung entnommen wurde.

Diese Proben zeigten LHKW-Gehalte zwischen 6 mg/m^3 und $0,3 \text{ mg/m}^3$. Die Verteilung erlaubte eine laterale Eingrenzung der Bodenluftbelastung. Durch die Zweitmessung im Kontaminationszentrum, die einen LHKW-Gehalt von nur noch 12 mg/m^3 ergab, und die Probenahme für die Laboranalytik, deren Befund eine Konzentration von 1 mg/m^3 ergab, erscheint dieser Bereich von seinem Schadstoffpotenzial her von geringer Bedeutung.

Visualisierung:

Da beim Einsatz von Vor-Ort-Untersuchungsmethoden verschiedenste Verfahren eingesetzt werden und der Ansatz darin besteht, zur Minimierung von Restrisiken eine hohe Datendichte zu erzielen, ist der Einsatz von Datenmanagement- und Visualisierungssoftware zweckmäßig und notwendig. Wichtig ist dafür jedoch darauf zu achten, dass rechtzeitig vor der Untersuchung das System der Georeferenzierung festgelegt und von allen Beteiligten verwendet wird.

Diese unterstützende Software dient zum einen dazu, alle relevanten Daten entsprechend dem Projektverlauf aufzunehmen. Dies sind vorhandene Karten und Luftbilder, Ergebnisse der historischen Erkundung (Gebäude- und Leitungspläne, Karten von Kriegseinwirkungen, Produktionsbereiche oder bekannt Schadensorte, uvm.), Profile der Georadaruntersuchungen oder anderer geophysikalischer Untersuchungen sowie die Lage der Aufschlüsse, die Ergebnisse der Bodenansprache und die Ergebnisse der Untersuchungen.

Zum anderen ermöglicht sie dem Bearbeiter vor Ort, die erzielten Teilergebnisse zu überblicken und zu nutzen sowie den Fortgang der Untersuchung dem jeweils aktuellen Kenntnisstand anzupassen.

Der Einsatz einer geländetauglichen Visualisierungssoftware unterstützt die flexible Vorgehensweise bei Vor-Ort-Untersuchungen und dient der unmittelbaren Information der Entscheidungsträger.

Der Einsatz von 3D-Visualisierungssoftware dient nicht nur dem Datenmanagement, sondern auch dazu, die Daten bedarfsgemäß und flexibel darzustellen. Hierzu gehören eindimensionale Darstellungen, wie Bohrprofile mit den Ergebnissen der Bodenansprache und der Schadstoffgehalte, zweidimensionale Darstellungen, wie sofortige und beliebige Verknüpfungen zu Schnitten durch die Untersuchungsfläche, und die dreidimensionale Darstellung aller Ergebnisse in einem beliebig veränderbaren 3D-Modell.

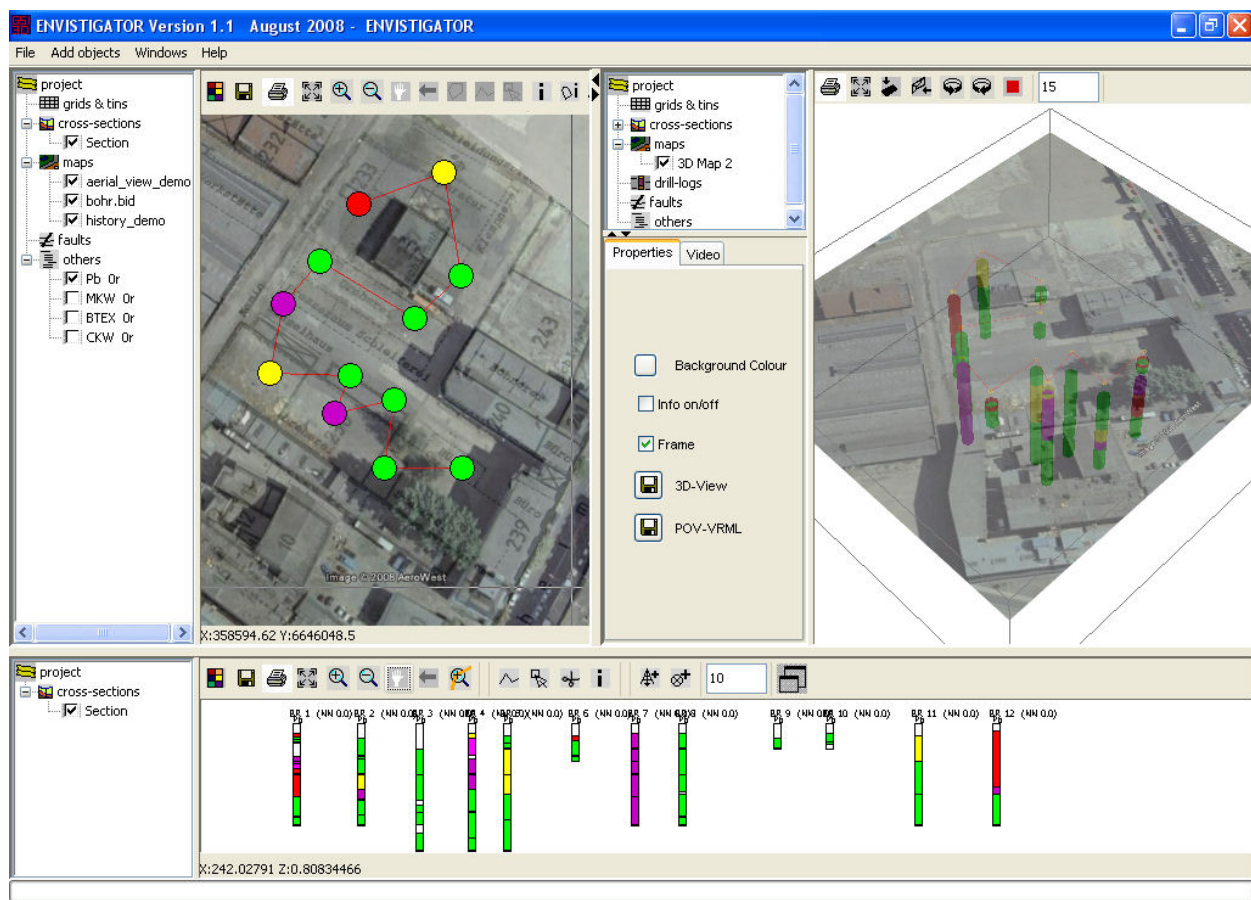


Abbildung 5: Darstellung von Untersuchungsergebnissen mit der Envistigator-Software

Die Ergebnisse können während der Feldarbeiten in einem Kartenfenster (links oben), einem Profilfenster (unten) und einem 3D-Fenster (rechts oben) dargestellt werden. Bodenansprachen können textlich und mit Farbzuordnungen (z.B. angelehnt an DIN 4023) dargestellt, Messwerte mit beliebigen Farbzuordnungen entsprechend der Überschreitung hinterlegter Prüfwerte (grün, gelb, rot, etc.) versehen werden. Auch geophysikalische Ergebnisse können importiert und zusammen mit den vorhandenen Daten visualisiert werden.

Im Rahmen des Feldversuches wurde eine Prototypversion des Programmes „Envistigator“ (Environmental Investigator) eingesetzt. Die oben bereits erwähnten Schnittstellenprobleme, besonders zu den geophysikalischen Verfahren, haben wichtige Hinweise für die Softwareentwicklung gegeben. Die Software wurde nun dahingehend entwickelt, dass sowohl bereits vorhandene Standardschnittstellen (z.B. Shape-, GRID-Dateien) als auch allgemeine Formate (Ascii-, XML-, TXT-, Bilddateien) genutzt werden können. Der Hauptvorteil liegt nun darin, Bilder, historische Pläne, hydrogeologische Daten, geophysikalische Messungen und Daten aus Vor-Ort-Analysen auch durch einen Nicht-Spezialisten schnell importieren und visualisieren zu können.

Zusammenfassung:

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Einsatz von Vor-Ort-Untersuchungsmethoden besonders für die zeitliche Optimierung von Untersuchungen und die flächendeckende Sachverhaltsermittlung von komplexen Arealen erhebliche Vorteile hat. Durch den Einsatz der Vor-Ort-Untersuchungen können Nachuntersuchungen und damit Zeitverzögerungen sowie zusätzliche Kosten vermieden werden.

Kontaminierte Bereiche auf Flächen können zeitnah eingegrenzt werden. Die Visualisierung unterstützt die Entscheidungsfindung im Untersuchungsverlauf. Die unmittelbare Übertragung von Messdaten in eine geeignete Software vermeidet die Fehlerquelle der handschriftlichen Eintragung.

4 Erkenntnisse / Erfahrungen / Empfehlungen und Ausblick

4.1 Erkenntnisse

Ziel des Leitfadens ist es, eine Methode darzustellen, mit der Flächenrecyclingverfahren und die Beantwortung damit verbundener bodenbezogener Fragestellungen durch eine Vorgehensweise unter Nutzung von Vor-Ort-Messtechniken bei gleichzeitiger Qualitätssicherung der erzielten Ergebnisse beschleunigt werden können. Die durchgeführten Felduntersuchungen haben einen Beitrag geleistet, die komplexen Bearbeitungsschritte bei der Anwendung in der Praxis auf ihre Leistungsfähigkeit hin zu überprüfen. Dabei ging es nicht nur um die Vorgehensweise im Rahmen der zu koordinierenden Arbeiten im Gelände, sondern auch um die Auswahl und Anwendung von Verfahren der Vor-Ort-Untersuchung und deren Verknüpfung mit den klassischen Analysemethoden. Diese Vorgehensweise kann, so die Erfahrung, eine Vielzahl von zeitaufwändigen Teilschritten bei Untersuchungen optimieren. Das gilt nicht nur für die standortbezogene Sachverhaltsermittlung, sondern auch für die Ermittlung von Aushubmassen, die im Verlaufe von Baumaßnahmen bewertet und entsorgt werden müssen. Notwendig ist bei der vorab beschriebenen komplexen Vorgehensweise die Übertragung der Verantwortung in die Hände eines verantwortlichen und erfahrenen Projektleiters.

Die auf dem Markt vorhandenen Messgeräte erlauben, in Kombination mit klassischen Vorgehensweisen innerhalb kurzer Zeit verwertbare Ergebnisse zu erzielen. Damit ist eine zu untersuchende Fläche umfassender und flächendeckender beschreibbar, als dies mit klassischen Untersuchungsstrategien alleine möglich wäre. Hierbei werden diese Methoden nicht als Ersatz für die Laboranalytik eingesetzt. Sie können ergänzend das Problem der Standortheterogenität durch eine größere Untersuchungsdichte besser lösen und somit auch das Restrisiko für Investoren minimieren.

Das Zusammenspiel von NORISC-DSS, Vor-Ort-Messtechnik und interdisziplinärem Arbeiten sowie eine begleitende Visualisierung erzeugen Effekte, welche die Untersuchung von alllastverdächtigen Flächen und Altlasten für das Flächenrecycling optimieren können.

Diese Vorgehensweise erfordert ein angepasstes Qualitätsmanagement.

4.1.1 Qualitätsmanagement

Die wesentlichen Elemente eines Qualitätsmanagements des Gesamtprojektes werden nachfolgend dargestellt (Abbildung 6) und erläutert.

Definition der Projektziele

Grundlage des Qualitätsmanagements ist die klare Definition der Projektziele und der erwarteten Aussagen. Einschränkende oder zumindest begleitende Faktoren bei Festlegung der Projektziele sind z. B. das verfügbare Budget und zeitliche Vorgaben zum Projektablauf.

Methodenauswahl

Die Methodenauswahl ist die fachlich anspruchsvollste Aufgabe bei der Projektplanung, da sie einen unmittelbaren Einfluss auf alle wesentlichen weiteren Schritte hat. Die Auswahl von Methoden oder Methodenkombinationen ist abhängig von den zu untersuchenden Umweltmedien (Boden, Bodenluft, Grundwasser), den Schadstoffparametern (Schadstoffgruppen, Summen- oder Einzelparameter) und von Messbereich, Messunsicherheit und Nachweisgrenzen. Für diese Auswahl ist weiterhin von Bedeutung, welche Fragestellungen am Standort durch den Einsatz geophysikalischer Methoden beantwortet werden sollen.

Technische Faktoren, wie Marktverfügbarkeit der Gerätetechnik, ihre Handhabbarkeit unter Feldbedingungen, Anforderungen an das Bedienpersonal sowie spezielle Anforderungen an die Probenahme und Probenvorbereitung, aber auch die Kosten/Nutzen-Relation und behördliche und gutachterliche Akzeptanz bestimmen die Anwendbarkeit von Methoden der Vor-Ort-Untersuchung. Es wird deshalb empfohlen, die messtechnischen Auswahlkriterien zum Beispiel über eine Entscheidungsmatrix oder die NORISC-DSS zu evaluieren, das Ergebnis aber nochmals aufgrund der eigenen Erfahrungen zu überprüfen. Die NORISC-DSS wird zum freien Herunterladen über die Webseite (www.norisc.info/download/NORISC_DSS.zip) zur Verfügung gestellt. Beschreibungen der NORISC-DSS und der zugrund liegenden Strategie sind im Download-Paket enthalten.

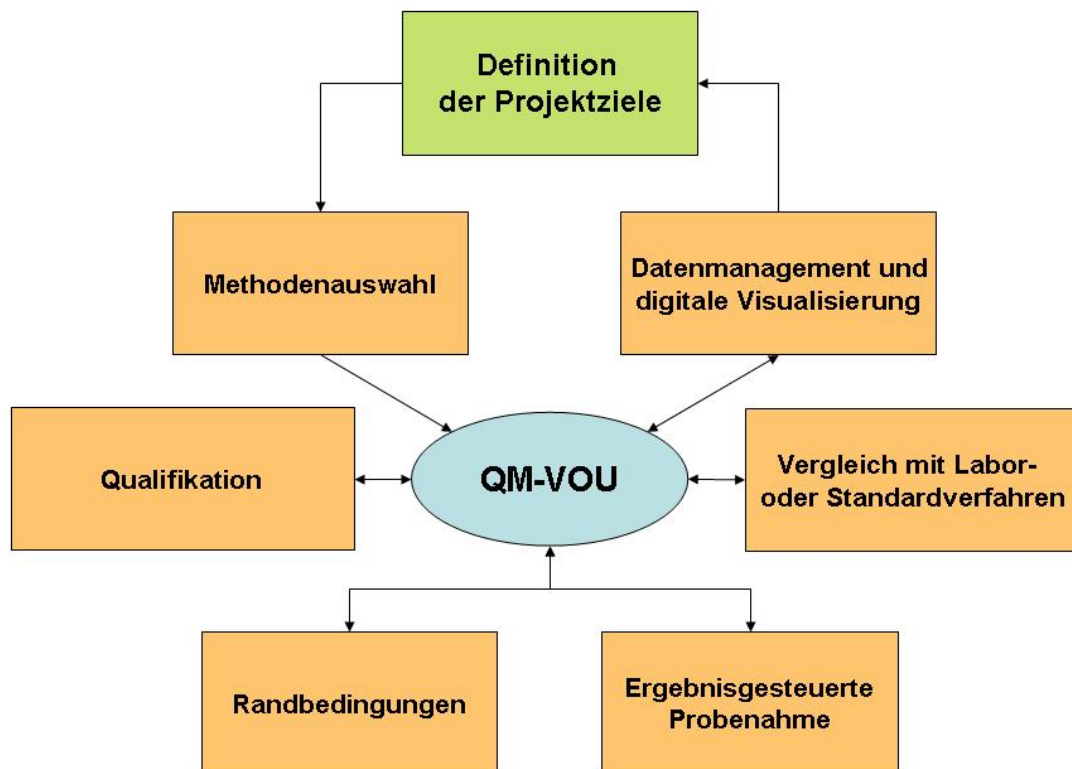


Abbildung 6: Qualitätsmanagement bei Vor-Ort-Untersuchungen

Qualifikation

Wie bereits erwähnt, stellt die vorgestellte Untersuchungsstrategie hohe Anforderungen an das die Untersuchungen durchführende Personal. Die Anwendung geophysikalischer oder chemisch-analytischer Verfahren setzt Sachkenntnis und Erfahrung voraus. Deshalb gilt es bereits während der Planung des Projektes zu prüfen, ob es sinnvoll ist, ein Analysengerät oder ein geophysikalisches Messsystem zu kaufen oder zu leihen, oder ob die Gesamtleistung (Gerät plus Messtechniker) nicht besser an einen Subunternehmer vergeben wird. In jedem Fall ist sicherzustellen, dass Zuständigkeiten, Anforderungen, Entscheidungswege und Schnittstellen vorab zweifelsfrei geklärt sind.

Randbedingungen

Während der Felduntersuchungen ist zu prüfen, ob die vorgefundenen Randbedingungen eine störungsfreie und den Projektzielen konforme Untersuchung ermöglichen. Vor geophysikalischen Messungen sollte abgeschätzt werden, ob die zu erwartenden Anomalien in den Messgrößen unter Beachtung künstlicher Störungen durch Industrie, Verkehr, Bebauung und Versiegelung einen Einsatz rechtfertigen. Für viele Analysenverfahren spielen hingegen Einflüsse wie

Bodenmatrix, Bodenfeuchte oder Temperatur und Luftfeuchtigkeit die entscheidende Rolle. Von erheblicher Bedeutung für den ungestörten Ablauf der Feldmesskampagnen sind infrastrukturelle Voraussetzungen wie Stromversorgung und Wetterschutz.

Ergebnisgesteuerte Probenahme

Ein Kernelement der Untersuchungsstrategien ist die optimierte Probenahmestrategie. Ausgehend von den Eingangsinformationen zu Projektbeginn wird eine Abfolge von Untersuchungsschritten festgelegt, die während der Messkampagne in Abhängigkeit von den erhaltenen Messergebnissen immer wieder überprüft und angepasst wird. Typischer Fall ist das Auffinden auffälliger Schadstoffgehalte in einer Sondierung oder in einer Einzelprobe. Über weitere Sondierungen oder geophysikalische Messungen wird ein vorhandener kontaminierter Bereich horizontal und vertikal eingegrenzt. Aus den zeitnah vorliegenden Informationen sind Hinweise zur weiteren Vorgehensweise, aber auch zur Qualität von Probenahme und Analytik ableitbar.

Diese Vorgehensweise erfordert jedoch, dass eine kurzfristige Beauftragung weiterer Untersuchungen aufgrund aktueller Befunde bzw. Erkenntnisse möglich sein muss.

Qualitätssicherung VOU

Beim Einsatz von Vor-Ort-Untersuchungen sind die Schritte der Qualitätssicherung für die Probenahme (PQS) und die Analytik (AQS) im Gegensatz zur herkömmlichen Vorgehensweise nicht mehr getrennt zu betrachten, da beide als eine Einheit angesehen werden müssen.

Vergleich mit Labor- oder Standardverfahren

Feldmesstechnik ist keine Laboranalytik unter Feldbedingungen. Im Regelfall sind analytische Normverfahren unter Feldbedingungen nicht durchführbar. Wegen erheblicher Einschränkungen bei Probenvorbereitung und Messung sowie Abweichung von vorgeschriebenen DIN-Konventionen ist im Regelfall keine Gleichwertigkeit der analytischen Messergebnisse möglich. Damit ist im Allgemeinen eine direkte Vergleichbarkeit der Messwerte (Feldmesstechnik – Laboranalytik) nicht möglich. In vielen Fällen kann wegen der eingeschränkten Anwendung von Reinigungs- und Anreicherungsprozeduren Feldanalytik auch nicht zum Abgleich mit Prüfwerten benutzt werden. Deshalb wird empfohlen, die Ergebnisse der Vor-Ort-Messungen mit genormten Laborverfahren zu überprüfen. Darüber hinaus dient dies auch der Überprüfung und Einschätzung der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Vor-Ort-Untersuchungsverfahren. Diese Überprüfung hat besondere Bedeutung, wenn Untersuchungsbefunde im Bereich der Prüfwerte oder anderer gesetzlich normierter Beurteilungswerte abzusichern sind. Der Umfang der Vergleichsanalytik ist abhängig von den eingesetzten Vor-Ort-Messverfahren und der Aufgabenstellung des Projektes.

Was hier im Wesentlichen für die chemisch-analytischen Verfahren gesagt wurde, gilt prinzipiell ebenso für den Einsatz geophysikalischer Verfahren. Auch hier werden die erzielten Ergebnisse z.B. durch punktuelle Sondierungen überprüft oder kalibriert.

Datenmanagement und digitale Visualisierung

Das Datenmanagement und gegebenenfalls die digitale Visualisierung sind bei der Anwendung innovativer Untersuchungsstrategien nicht nur ein Endglied zur Dokumentation der erzielten Untersuchungsergebnisse, sondern ein wesentlicher Teil der eigentlichen Untersuchung im Feld. Auch beim Einsatz von Vor-Ort-Untersuchungsverfahren ist eine möglichst durchgängige digitale Datenverwaltung empfehlenswert. Die entsprechenden Grundvoraussetzungen sind leistungsfähige Notebooks und Software (Tabellenkalkulationsprogramme, Bohrprofilprogramme oder 3D-Visualisierungssoftware). Das Datenmanagement sollte eine Aufnahme der Bodenansprache und der Bohrprofilaten beinhalten, aber auch Möglichkeiten von Barcodebeschriftungen der Probengefäße umfassen. Manche auf dem Markt verfügbaren mobilen Analysergeräte verfügen bereits über die Möglichkeit, Barcode-Probenbeschriftungen einzulesen. Entsprechende mobile Drucker und Lesegeräte sind in verschiedenen Varianten erhältlich. Das Datenmanagement umfasst gleichzeitig den Einbezug digitalisierter Probennahmeprotokolle, die Bereitstellung entsprechender Standardarbeitsvorschriften und Festlegungen zur Vor-Ort-Messstrategie (Probenzahl, Rückstellproben und Konservierung, Kontrollstandards und Aufstockproben).

Zahlreiche Geräte, die zurzeit im Bereich der Geophysik eingesetzt werden, verwenden hersteller-/gerätespezifische Software mit entsprechenden Datenformaten. Bis zur Einführung allgemeiner standardisierter Datenformate für diese Geräte kann die entsprechende Datenübergabe über graphische Formate, zum Beispiel als Bilddateien, erfolgen. Diese Bilddateien lassen sich meist in 3D-Visualisierungssysteme importieren und zeitnah darstellen.

Die digitale Datenverwaltung reduziert durch entsprechende Schnittstellen nicht nur die Wahrscheinlichkeit von Eingabefehlern, sondern ermöglicht es auch, parallel zum Untersuchungsfortschritt Daten auszutauschen, auf Plausibilität zu prüfen und im Sinne der Projektziele zu bewerten.

4.2 Erfahrungen

Die Anwendung von Vor-Ort-Untersuchungsmethoden hat vor Beginn der Untersuchungen einen erhöhten Planungsbedarf zur Folge. Es ist Aufgabe des Gutachters, trotz des anfänglich höheren Aufwandes das Gesamtprojekt kosteneffizient durchzuführen.

Von grundlegender Bedeutung ist dabei der zweckgebundene Einsatz von Methoden und Techniken. Dazu gehört die Prüfung, ob vorgesehene Messmethoden und Gerätetechniken Erkenntnisse zur Klärung der Fragestellung beitragen können. Ein wesentlicher Punkt ist die richtige Gewichtung zwischen schnellen „flächencharakterisierenden“ Methoden (z. B. der Geophysik oder der Vor-Ort-Analytik) und justiziablen, in Verordnungen verankerten Methoden bzw. Normungsvorschriften.

In der Vergangenheit hat eine Spezialisierung auf dem Markt der Altlastenuntersuchung stattgefunden. So ist es heute eher selten, Anbieter zu finden, die alle Leistungen, von der Durchführung der Bohrungen, Anwendung geophysikalischer Methoden, der Probennahme, der Analytik und der Begutachtung, komplett übernehmen. Es gibt aber eine große Anzahl spezialisierter Unternehmen, die entsprechende Aufschluss- und Bohrarbeiten sowie geophysikalische Verfahren und Vor-Ort-Untersuchungen als Dienstleistung anbieten.

Ein Problem in der Praxis ist die Ausschreibung und Vergabe von Untersuchungsleistungen. In den letzten Jahrzehnten wurde in der Regel dem Auftragnehmer für eine Altlastenuntersuchung ein klar definiertes Untersuchungsprogramm vorgegeben. Die Möglichkeiten, dieses beauftragte Programm an neue Befunde auf der Fläche anzupassen, waren begrenzt. Im Endeffekt führt eine solche Vorgehensweise zu einem einfachen und klaren Kostencontrolling, dient aber nicht in allen Fällen einer kosteneffizienten Untersuchung von Flächen.

Die Auftragsabwicklung unter Einbeziehung von Vor-Ort-Untersuchungsmethoden erfordert vom Projektleiter eine gute Kenntnis der zur Verfügung stehenden Vor-Ort-Messtechniken. Dabei können vorhandene Hilfsmittel, wie z. B. die NORISC DSS, eine Unterstützung bieten. Wichtig ist, dass in der Planungsphase der Untersuchung eine intensive Abstimmung zwischen Projektleiter und Subunternehmern stattfindet, in der die zu erbringenden Leistungen, Zeitpläne und Projektziele geklärt werden. Es ist im Vorfeld weiterhin sicherzustellen, dass eine digitale Übernahme der Mess- und Sondierdaten über eine definierte Schnittstelle in eine geeignete Auswerte- und Visualisierungssoftware möglich ist, um einen effektiven und fehlerfreien Einsatz der verschiedenen Methoden zu gewährleisten. Diese Schnittstellen sind derzeit noch nicht in einer Weise standardisiert, wie dies in vielen anderen Bereichen der EDV bereits erfolgt ist (z.B. XML-Standard).

Anforderungen an die direkte Visualisierung „Vor-Ort“

Wegen der bisher eingeschränkten Kompatibilität zwischen Daten der Vor-Ort-Messtechnik und Systemen zur digitalen Vor-Ort-Visualisierung ist es empfehlenswert, Schicht-, Proben- und Analysedaten über einfache Textdateien sowie geophysikalische Ergebnisse über Bilddateien zu handhaben. Dafür wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

1. Festlegung des Untersuchungsbereiches und der Georeferenzierung der für diesen Bereich vorliegenden Luftbilder, Karten und historischen Pläne. Diese können als georeferenzierte Bilddateien in die Visualisierungssoftware importiert werden.
2. Optional Import eines digitalen Geländemodells.
3. Klärung der Schnittstellen, Vorgabe des Systems der Georeferenzierung und Verortung von geophysikalischen Profilen, Sondierpunkten, etc. Geophysikalische Daten lassen sich bis zum Vorliegen allgemeiner Datenstandards noch am besten als in Graustufen gehaltene Bilddateien importieren. Farbübergänge suggerieren oft qualitative/quantitative Unterschiede, die in den Rohdaten nicht vorhanden sind.
4. Vorbereitung von Textdateien für folgende Inhalte:
 - a. Bohrungsbezeichnungen und Lage im Raum (x, y, z-Koordinaten)
 - b. Bohrungsbezeichnungen und pedologische/geologische Ansprache der angetroffenen Schichten.
 - c. Bohrungsbezeichnungen, Tiefenlage der entnommenen Proben und Ergebnisse der Vor-Ort-Analytik für die zu untersuchenden Schadstoffgruppen.
 - d. Legendendatei(en) mit relevanten Gehaltsklassen (nach Prüfwerten BBodSchV oder LAGA-Zuordnungswerten) und Zuordnung von Farbwerten (z.B. grün, gelb, rot).

Diese Dateien lassen sich im Excel-Format vorbereiten und später als Textdatei mit Tabulatortrennung (ASCII-Format) speichern und importieren. Während der eigentlichen Untersuchung können neue Daten eingepflegt und in das System eingelesen werden. Da es hier keinerlei programmspezifische Beschränkungen gibt, sondern ein allgemein verfügbares Format gewählt wurde, kann jeder Nutzer entsprechende Anpassungen nach eigenem Bedarf vornehmen.

Datei	Bearbeiten	Format	Ansicht	?
BR 1	2569326.1	5646446.67	0	
BR 2	2569358.37	5646422.42	0	
BR 3	2569345.39	5646454.47	0	
BR 4	2569314.19	5646465.67	0	
BR 5	2569307.45	5646470.28	0	
BR 6	2569316.53	5646468.93	0	
BR 7	2569325.36	5646528.17	0	
BR 8	2569303.45	5646477.3	0	
BR 9	2569295.86	5646469.64	0	
BR 10	2569302.74	5646461.63	0	
BR 11	2569322.03	5646460.64	0	
BR 12	2569310.4	5646463.9	0	

Datei	Bearbeiten	Format	Ansicht	?							
Log	From	To	Pb	Hg	Zn	Cu	Ni	Cr	MKW	CKW	BTEX
BR 1	0.4	0.55	213.19	-1	268.79	80.88	-1	-1	-1	-1	-1
BR 1	0.4	0.55	225.49	-1	258.18	80.95	-1	-1	-1	-1	-1
BR 1	0.55	0.65	38.41	-1	37.26	-1	33.19	-1	-1	-1	-1
BR 1	0.65	0.75	-1	-1	147.64	-1	-1	-1	-1	-1	-1
BR 1	0.75	0.8	47.54	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Abbildung 7a und b: Einfache Textdateien zur Georeferenzierung von Bohrungen und zum Import von Messergebnissen

Durch die digitale Visualisierung von Daten sollte der jeweilige Untersuchungsstand nach Bedarf dargestellt werden können. Zum einen können die Untersuchungspunkte und Bohrungen sowohl auf den Luftbildern und Plänen als auch in Bezug zu den historischen Erkundungsergebnissen dargestellt werden, um eventuell vorhandene Zusammenhänge erkennen zu können. Zum anderen ist es hilfreich, die Ergebnisse der Geophysik oder der Vor-Ort-Untersuchung

auch in einer Profilansicht betrachten zu können. Alle Informationen sollten zu einem 3D-Modell kombiniert werden, welches die Ergebnisse visuell verständlich zusammenfassen kann. Die Messwerte der Vor-Ort-Untersuchungen lassen sich mit Prüfwerten (BBodSchV, TR LAGA, etc.) oder Sanierungszielwerten in Beziehung setzen und Über-/Unterschreitungen sofort farblich hervorheben (Abb. 8).



Abbildung 8: Bohrpunkte mit Farbklassen für Schadstoffgehalte (Mittelwerte für Tiefenintervall)

In Abbildung 9 sind unterschiedlich starke Überschreitungen der BBodSchV-Prüfwerte (rot/magenta) in den Tiefenintervallen der Bohrprofile dargestellt..

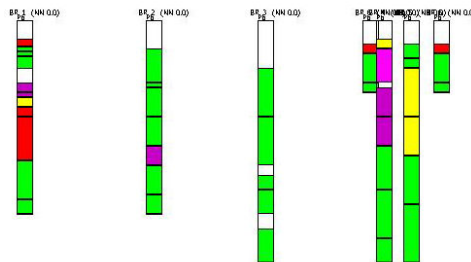


Abbildung 9: Sondierprofile mit Farbklassen für Schadstoffgehalte.

Abbildung 10 zeigt die Schadstoffgehalte und Prüfwertüberschreitungen in verschiedenen Tiefenintervallen der Bohrungen überlagert vom Luftbild der Fläche.

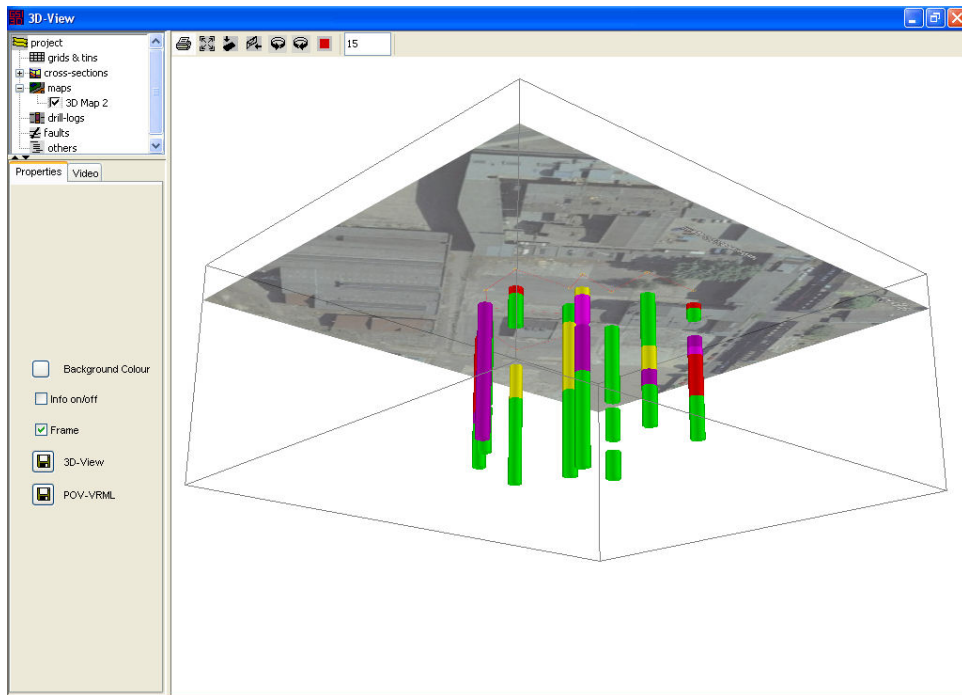


Abbildung 10: Screenshot eines einfachen 3D-Modells

Abbildung 11 stellt die mittels Voronoi-Polygonen berechnete Schadstoffverteilung für einen Parameter bezogen auf die LAGA Z1.2- und Z2-Werte in den obersten 3 Metern unter Geländeoberkante dar. Das Programm kalkuliert die entsprechenden Volumina.

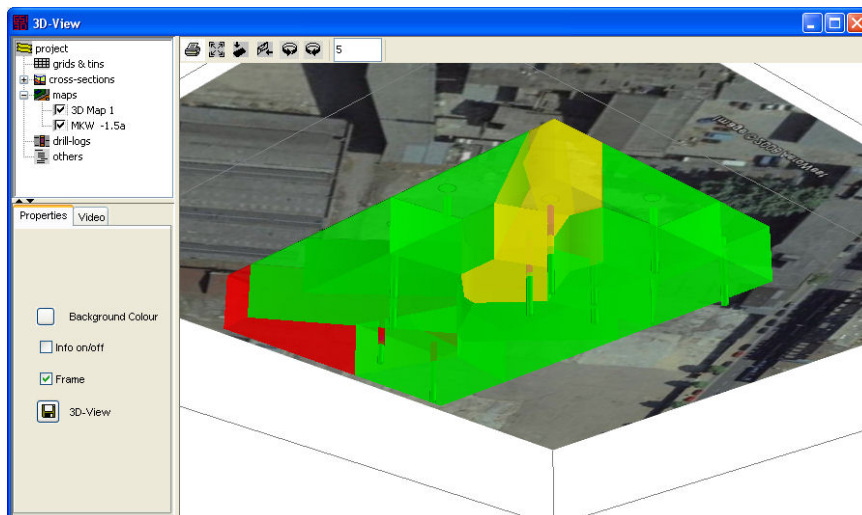


Abbildung 11: 3D-Darstellung von Bezugswertüberschreitungen in den oberen 3 Metern unter Geländeoberkante

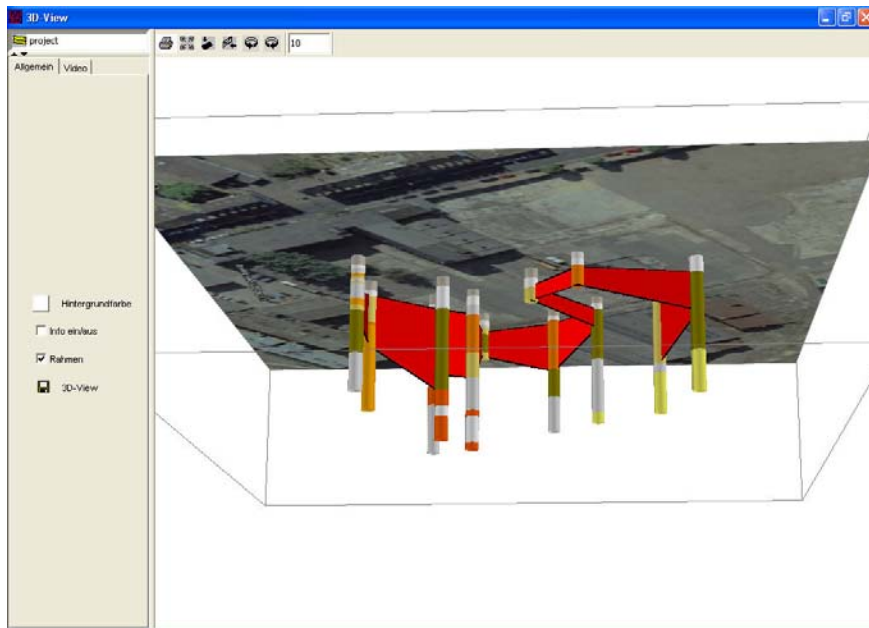


Abbildung 12: Auskartierung und Visualisierung der angetroffenen kontaminierten Auffüllungen (rot).

Die Abbildungen 8 bis 12 wurden mittels der Visualisierungssoftware „Envistigator“ erstellt.

Die Visualisierungssoftware muss in der Lage sein, Lagepläne, Geländemodelle, geologische Schnitte sowie Punktdaten aus Vor-Ort-Messungen darzustellen, diese mit flächenhaften Untersuchungen der Geophysik zu verknüpfen und die Schadstoffverteilungen zweidimensional, in Bohrprofilen und in einer 3D-Ansicht zu visualisieren. Weiterhin sollten Voronoi-Polygone berechnet werden können, die es ermöglichen, auf Grundlage der vorliegenden Daten und unter Zuhilfenahme einer frei definierbaren Klasseneinteilung (z.B. nach BBodSchV oder LAGA) Flächen oder Volumina mit gleicher Kontamination darzustellen.

Diese Software soll die einfache bildliche Darstellung der Untersuchungsergebnisse Vor-Ort oder im Rahmen der Erstellung von Berichten ermöglichen und kann somit nicht nur dem Fachmann die tägliche Arbeit erleichtern, sondern gerade auch Nichtfachleuten ein besseres Verständnis der Standortverhältnisse ermöglichen. Beim Feldversuch zeigten sich auch hier noch die erwähnten Schnittstellenprobleme, die jedoch wertvolle Hinweise für die Entwicklung der Software gaben und inzwischen gelöst sind.

4.3 Empfehlungen und Ausblick

Untersuchungsmethoden, die flächendeckend und Zeit bzw. Kosten sparend altlastenbedingte Restriktionen aufzeigen, können einen Beitrag zur Beschleunigung der Revitalisierung von Brachflächen leisten. Kommunen, die Altlasten- und Brachflächenkataster erstellen oder die Vermarktung kommunaler Brachflächen betreiben, können Vorteile aus solchen Untersuchungsmethoden ziehen und darauf aufbauend Stadtentwicklungskonzepte und Nutzungsüberlegungen zielführender entwickeln.

Der Einsatz von Vor-Ort-Messtechniken erlaubt auf der Grundlage bereits ermittelter Untersuchungsbefunde eine rasche Entscheidung über Art und Umfang weiterer Untersuchungen. Dieser Flexibilität bei der Anpassung der Vorgehensweise im Untersuchungsablauf an die standörtlichen Gegebenheiten und Bedingungen muss bei der Auftragsgestaltung und -vergabe an einen verantwortlichen Projektleiter Rechnung getragen werden: Dieser Projektleiter muss in die

Lage versetzt werden und befugt sein, solche Entscheidungen im Rahmen eines Vertrages zeitnah zu beauftragen bzw. umsetzen.

Von Bedeutung für den problemlosen und kostengünstigen Einsatz von Vor-Ort-Messtechniken ist die Bereitstellung und Weiterentwicklung von Dienstleistungs- und Mietangeboten für Messgeräte der Vor-Ort-Analytik und Geophysik.

Weiterhin wäre für die Integration dieser Untersuchungsstrategie in die Praxis die Entwicklung, Fortschreibung und Aktualisierung eines allgemein zugänglichen Verzeichnisses von Vor-Ort-Messtechniken zweckmäßig. Dies könnte zum Beispiel geschehen im Rahmen einer Weiterentwicklung der NORISC-DSS zu einer von einem Expertengremium begutachteten webbasierten Lösung. Sinnvoll wäre dabei auch die Verknüpfung dieser Lösung mit Anbieterverzeichnissen und Erfahrungsberichten aus der Praxis.

Die Strategie von Vor-Ort-Untersuchungen und die visualisierte Datenverknüpfung anhand von Praxisfällen sollten auch in Fortbildungsveranstaltungen vorgestellt und diskutiert werden oder ggf. Thema spezifischer Veranstaltungen sein. Dazu gehören unter anderem die Organisation und Durchführung von Schulungs- und Trainingsmaßnahmen für Untersuchungsstrategien, die Nutzung der NORISC-DSS, die Verfügbarkeit und Anwendung von Messtechniken einschließlich geeigneter Software.

Es ist davon auszugehen, dass sich die innovativen Untersuchungsstrategien unter Anwendung von Vor-Ort-Messtechniken auch in der Bundesrepublik Deutschland weiter durchsetzen und damit vor allem auch einen wichtigen Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung leisten werden.

5 Methoden zur Vor-Ort-Untersuchung

5.1 Physikalisch-chemische Methoden der Stoffanalytik

Im nachfolgenden werden stichpunktartig stoffanalytische Methoden zusammengestellt, die entweder als Feldmethoden entwickelt und angewendet wurden oder aber für den Feldeinsatz geeignet sind. Dabei gilt als Anwendungsziel die schnelle Altlastenerkundung. **Hinweise auf bestimmte Gerätetypen, Hersteller, Anbieter, Kataloge, Datenblätter und Abbildungen sind kein Auswahlkriterium für den Vergleich mit anderen Anbietern. Sie dienen nur beispielhaft der Charakterisierung von Einsatzfeldern und den prinzipiellen Voraussetzungen ihrer Anwendung.**

Die in Normen festgelegten Methoden der so genannten Feldparameter bei der Grundwasserprobenahme (Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Redoxpotential, Gelöstsauerstoff, Trübung und spektraler Absorptionskoeffizient) werden, weil bekannt und eingeführt, hier nicht betrachtet. Als gültige Normen gelten die in der BBodSchV aufgelisteten Vorschriften.

Vor-Ort-Methoden sind bislang nicht genormt. Sie dürfen als Hausverfahren gemäß BBodSchV Anhang 1, Abschnitt 2, Pkt. 2.1 zur Erstellung von Hypothesen über die räumliche Verteilung von Schadstoffen benutzt werden.

Allgemeine Randbedingungen

Zielfunktionen des Einsatzes von Methoden der Vor-Ort-Analytik bzw. im erweiterten Sinne der Vor-Ort-Messtechnik sind hier:

1. Die schnelle Erfassung von Schadstoffherden und deren räumliche Verteilung (Zielfunktion Standorterkundung)
2. Die begleitende Kontrolle bei Sanierungsverfahren (Zielfunktion Sanierungskontrolle)
3. Die vereinfachte Überwachung des Sanierungserfolges (Zielfunktion Standortüberwachung)

Die Durchführung von Messungen direkt am Untersuchungsstandort ist festgelegt durch die

- zu lösende Fragestellung,
- Spezifik des Untersuchungsstandortes,
- verfügbare Messtechnik,
- Zulässigkeit der Anwendung,
- geforderten analytischen Randbedingungen sowie
- durch den Zeit- und Kostenaufwand.

Die wesentlichen Aufgaben der Vor-Ort-Messtechniken bestehen vornehmlich in der schnellen Ermittlung der Ausdehnung von Schadstoffherden mittels vereinfachter analytischer Prozeduren aber hoher Stichprobenanzahl pro Flächeneinheit. Vor-Ort-Analytik ersetzt im Allgemeinen nicht die mittels Normen geregelte Analytik. Das primäre Ziel ist vielmehr die Optimierung der Probenahme-strategie für eine gerichts-feste Laboranalytik.

Die Gleichwertigkeit stofflicher Aussagen (Komponentenzusammensetzung, Konzentrationsangaben) ist nur bedingt gegeben. Die Gründe dafür sind:

- Vereinfachte oder keine Probenvorbereitung (u. a. Trocknung, Siebung)
- Vereinfachte und/oder abweichende Probenaufarbeitung (Wahl der Extraktionsmittel, Reinigungsprozeduren)
- Abweichungen von Normen/Richtlinien
- Messungen ohne Probenahme (in-situ) oder Screening am Bohrkern.

Die Anwendung von Vor-Ort-Methoden setzt voraus:

- Die Gleichwertigkeit der Informationen über die Schadensherdgeomtrie
- Die Gleichwertigkeit der Aussagen zur Schadstofffahne
- Die Gleichwertigkeit der Aussagen zum Sanierungs- und Entsorgungsumfang.

Der Umfang erwarteter Detailinformationen und die erforderliche Informationstiefe bestimmen die Auswahl erforderlicher Messtechniken. Mit zunehmenden Anforderungen (Analyse komplexer Kontaminationsprofile, detaillierte Aussagen zu den einzelnen Kontaminanten, laboranalytisch äquivalente Informationen) sind qualifiziertere und damit auch aufwändigere analytische Gerätetechniken wie Massenspektrometer oder RFA-Geräte erforderlich.

Methodenkatalog

Folgende chemisch-physikalische Methoden sind vom Prinzip her benutzbar:

1. Chemische und biochemische Methoden (Immunoassays)
2. Elektrochemische Methoden (Voltammetrie)
3. Atomspektroskopische Methoden (Röntgenfluoreszenzanalyse)
4. Molekülspektroskopische Methoden (Kolorimetrie, Spektralphotometrie, Fluorimetrie, Infrarot-Spektroskopie, Massenspektrometrie).

Chromatographische Trennverfahren, wie die Gaschromatographie, und Methoden der Probenaufbereitung, wie Dampfraumverfahren, Purge&Trap-Verfahren, Flüssigextraktionen und Festphasenextraktionen, ergänzen die methodischen Möglichkeiten.

Typisch angewendete Gerätetechniken im Altlastenbereich sind:

- Sensorische Messsysteme: elektrochemische Sensoren, optische Sensoren (IR, Evaneszenz, Fluoreszenz), stoffunspezifische Sensoren (FID, PID, WLD), Sensor arrays,
- UV/VIS-, Fluoreszenz- und IR-Spektrometer,
- Laserinduzierte Fluoreszenzsonden,
- Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalysatoren (handgehalten, transportabel),
- Gaschromatographen mit diversen Detektoren (WLD, PID, FID, DELCD),
- Gaschromatographen-Massenspektrometer – Kopplungen (GC/MS).

Nachfolgend werden einige der häufig benutzten Vor-Ort-Analysetechniken zur Bestimmung von Schadstoffen in Wasser, in der Bodenluft, im Boden bzw. in entnommenen Feststoffproben aufgelistet.

Als relevante Stoffgruppen können untersucht werden:

- Anionen wie Chlorid, Nitrat, Sulfat, Fluorid in Wasser
- Kationen insbesondere Schwermetalle in Böden/Feststoffen und gelöst in Wasser
- Gase wie Methan, Schwefelwasserstoff in der Bodenluft
- Flüchtige organische Verbindungen (VOC) wie halogenierte Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW) und Monoaromaten (BTEX) in allen Umweltmedien
- Mineralölkohlenwasserstoffe wie Otto- und Dieselkraftstoffe in Böden/Feststoffen und gelöst in Wasser, leichtflüchtige Bestandteile auch in der Bodenluft
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Phenole und polychlorierte Biphenyle in Böden/Feststoffen und gelöst in Wasser
- Pflanzenschutzmittel (PSM) in Böden/Feststoffen und gelöst in Wasser
- Eingeschränkt auch andere Industriechemikalien bei Kenntnissen aus der Recherche in Böden/Feststoffen und gelöst in Wasser.

5.1.1 Kolorimetrische Verfahren - Prinzip des Farbvergleichs



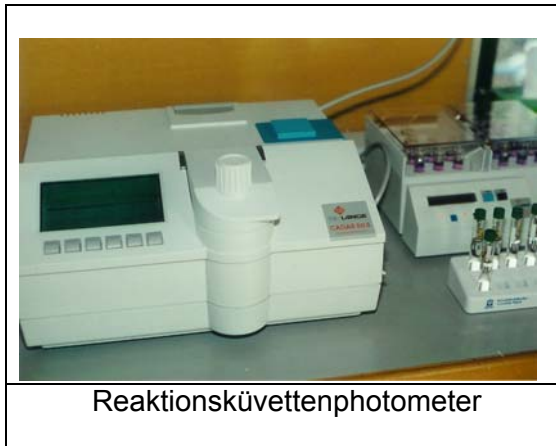
- Charakteristik:
- Ausbildung stoffspezifischer Farbreaktionen
 - Einfache Durchführung
 - Keine speziellen Fachkenntnisse erforderlich
 - Visueller oder photometrischer Farbvergleich
 - Zeitbedarf und Ausführungsaufwand gering
 - Finanzieller Aufwand gering
- Probleme:
- Erhebliche Störungen und Verfälschungen durch Querempfindlichkeiten
 - Meist nur Einzelstoffbestimmung
 - Aufwand und Kosten erheblich bei gleichzeitiger paralleler Bestimmung mehrerer Komponenten (bspw. Nitrat, Chlorid, Sulfat in Wasser)
- Typische Anwendungsformen:
- | | |
|---------------------|-----------------------|
| - Prüfröhrchen | für gasförmige Proben |
| - Teststreifen | für wässrige Proben |
| - Teststäbchen | für wässrige Proben |
| - Reaktionsküvetten | für wässrige Proben |
| - Immuno-Assays | für wässrige Proben |

Bodenproben sind über wässrige Eluate analysierbar. Bezüglich der Schnellelution gibt es allerdings keine verbindlichen Vorgaben. Immunoassays (ELISA-Tests) haben sich in Deutschland nicht durchgesetzt.

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe:

- Dexsil-Testsets
- Dräger-Prüfröhrchen
- Hach Lange Pocket Kolorimeter
- Merck-Testkits /-streifen / -stäbchen (Merckoquant, Reflectoquant, Colometric Test Kits)

5.1.2 Photometrische Verfahren - Prinzip der spektralen Absorptionsmessung



- Charakteristik:
- Ausbildung stoffspezifischer Farbreaktionen
 - Verwendung von Barcode-Reaktionsküvetten
 - Keine speziellen Fachkenntnisse erforderlich
 - Messung der Lichtschwächung im charakteristischen Spektralbereich der zu bestimmenden Komponente
 - Integrierte Kalibrierkurven
 - Methodenerkennung über den Barcode
 - Einfache Durchführung
 - Zeitbedarf und Ausführungsaufwand gering
 - Finanzieller Aufwand deutlich (Einwegküvetten)
- Probleme:
- Erhebliche Störungen und Verfälschungen durch Querempfindlichkeiten und meist nur Einzelstoffbestimmung
 - Aufwand und Kosten erheblich bei gleichzeitiger paralleler Bestimmung mehrerer Komponenten (bspw. Nitrat, Chlorid, Sulfat in Wasser)
 - Entsorgungspflichtiger Abfall
 - Reaktionsküvetten sind herstellerepezifisch

Typische Anwendungsformen:

- UV/VIS-Photometer für wässrige Proben
- Reaktionsküvetten für wässrige Proben

Bodenproben sind nur über wässrige Eluate analysierbar.

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe:

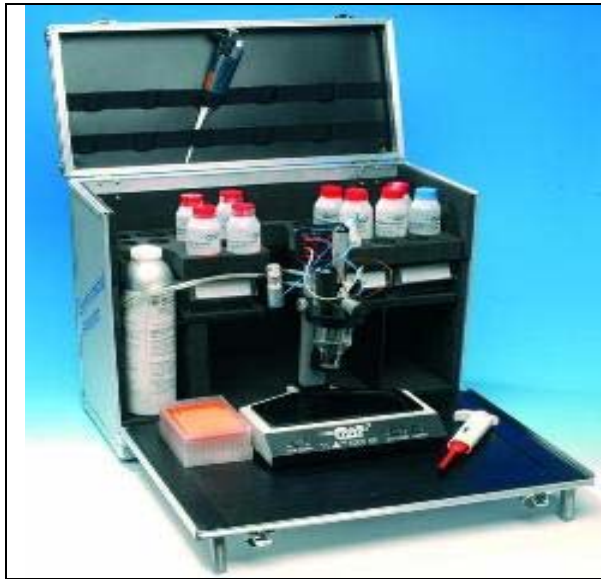
- Lange-Reaktionsküvettenphotometer
- WTW-Photometer

 A black, cylindrical submersible probe with a blue label that reads 'SCUFA' and 'TURNER DESIGNS'. It has a connector at the bottom.	 A handheld digital meter with a black face and a purple glow. The screen shows '26 PPM'. The text 'UV FLUORESCENCE' is above the screen, and 'TD500 OIL IN WATER METER' is below it. The bottom of the device says 'TURNER DESIGNS Hydrocarbon Instruments'.
<p>SCUFA-Tauchsonde</p>	<p>TD500 Öl-in-Wasser-Messgerät</p>

Spezielle Ausführungsformen sind als Tauchsonden ausgeführt (Absorptionsmessung bzw. Fluoreszenzmessung – bspw. die SCUFA-Tauchsonde von Turner Designs; Vertrieb durch Nordantec GmbH). Faserfluoreszenzphotometer werden vornehmlich zur Fluoreszenztracermessung (Grundwasserfließverhalten) benutzt, sind aber auch zur Detektion fluoreszierender Kontaminanten (PAK's) geeignet. Küvettengeräte wie das TD500 von Turner Design gestatten Ölmessungen in Wasser <1ppm.

Eine spezielle Anwendungsform ist die Messung der laserinduzierten Fluoreszenz an Bodenproben oder in-situ während der Sondierung (Drucksondiertechnik gekoppelt mit ROST (Rapid Optical Screening Tool)-Techniken). Die Anwendung dieser Methoden erfordert einen hohen technischen Aufwand und ist Spezialfirmen vorbehalten.

5.1.3 Voltammetrie - Prinzip der Messung von Strom-Spannungskurven



TEA 4000 PCMCIA



PDV 6000

Charakteristik:

- Anwendung der Faradayschen Gesetze (Elektrochemie)
- Bestimmung elektrochemisch aktiver Schwermetallionen
- Vorzugsweise Ermittlung von ionaler Schwermetallspuren mittels Inversvoltammetrie im ppb-Bereich
- Parallele Bestimmung mehrerer Komponenten (bspw. As-, Cu-, Cd-, Pb-, Zn- Ionen in Wasser)
- Identifizierung der Ionenart über das Halbstufenpotenzial
- Bestimmung der Konzentration über den Spitzenstrom
- Spezielle Fachkenntnisse erforderlich
- Einfache Durchführung
- Zeitbedarf und Ausführungsaufwand gering
- Finanzieller Aufwand niedrig

Probleme:

- Erhebliche Störungen und Verfälschungen durch oberflächenaktive Stoffe, Elektrodengifte und Schwebstoffe

Typische Anwendungsformen:

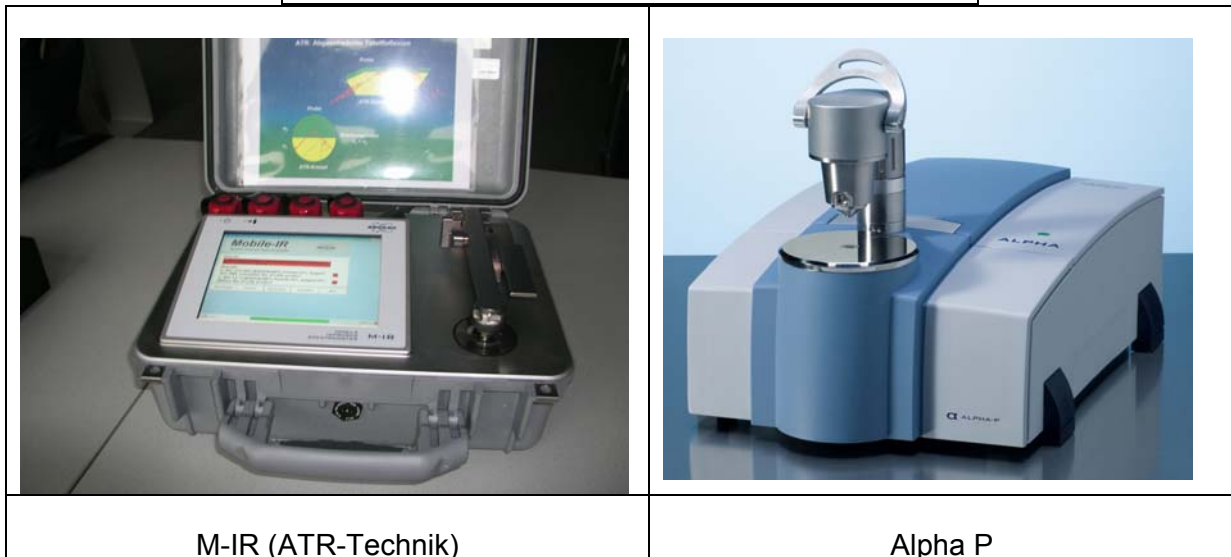
- Transportable Voltammeter zur Wasseranalytik

Von der Analyse von wässrigen Bodeneluaten ist wegen erheblicher Störungen durch gelöste Bodenmatrix (Huminstoffe) abzuraten (siehe Punkt Probleme).

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe:

- MTI PDV 6000
- Nordantec TEA 4000 PCMCIA
- Radiometer VoltaLab 10

5.1.4 IR-Spektrometrie - Prinzip der stoffrelevanten Infrarotabsorptionsmessung



- Charakteristik:
- Messung der stoffspezifischen Absorption von Infrarotstrahlung bei Durchgang oder Reflexion des Messobjektes
 - Messtechnische Ausführung als Küvettengerät oder Open Path
 - System zur Messung gasförmiger bzw. verdampfbarer anorganischer und organischer Moleküle wie Schwefeldioxid, Benzol, Freon
 - Nutzung von Fourier-Transform-Spektrometern zur verbesserten Identifikation
 - Identifikation unbekannter IR-aktiver Stoffe durch Spektrenvergleich mit den Identifizierungsspektren in verfügbaren Bibliotheken z.B. <http://www.ansyco.de/CMS/frontend/index.php?idcatside=124>
 - Quantifizierung nach entsprechenden anwendungsspezifischen Kalibrierungen
 - Spezielle Fachkenntnisse sind notwendig
 - Einfache Durchführung von Serienmessungen
 - Zeitbedarf und Ausführungsaufwand gering
 - Finanzieller Aufwand > 30 T€

- Probleme:
- Im Allgemeinen Messungen in höheren Konzentrationsbereichen
 - Eingeschränkte Unterscheidung bei Substanzgemischen
 - Erhebliche Störungen durch Wasser- oder CO₂-Banden

Typische Anwendungsformen:

- Transportable Küvettenmesstechniken vornehmlich zur Messung flüssiger und fester Proben (ATR-Technik) und scannende Open Path Techniken zur Messung von Schadstoffwolken bis in den ppm-Bereich

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe:

- FT-IR GASMET DX-4030 (Vertrieb ansyco Karlsruhe)
- Alpha P von Bruker Optics (kleinstes Spektrometer mit modularem Aufbau)
- M-IR von Bruker Optics
- Passiv Open Path FTIR RAPID von Bruker Optics
- HAZMAT ID von Smiths Detection

5.1.5 Gassensorik - Prinzip der stoffunspecifischen Messsignalerzeugung



PID MiniRae von Fa. Rae Instruments



G 200-X von Fa. Honold

Charakteristik:

- Anwendung unterschiedlicher Detektionsprinzipien ohne stoffliche Vortrennung
- Vornehmlich stoffunspecifische Detektion (summarisches Signal)
- In Ausnahmefällen stoffselektive Detektion insbesondere bei elektrochemischen und IR-Sensoren
- Detektionsbereiche liegen je nach Sensorart und Einsatzbestimmung zwischen ppm- und Prozentbereich
- Häufig Anwendung als Arbeitsschutzkontrollgerät
- Verknüpfung verschiedener Sensoren zu Sensorarrays wie z.B. Wärmeleitfähigkeit, Photoionisation, Redoxpotential zur gleichzeitigen Bestimmung mehrerer charakteristischer Parameter wie Untere Explosionsgrenze, brennbare Gase, Kohlenwasserstoffe, CO, CO₂
- Spezielle Fachkenntnisse nicht erforderlich
- Einfache Durchführung
- Zeitbedarf und Ausführungsaufwand gering
- Finanzieller Aufwand niedrig

Probleme:

- Erhebliche Querempfindlichkeiten bei der Einzelstoffsensorik
Eine Zuordnung von Signalgröße und Konzentration ist nur eingeschränkt möglich
- Im Allgemeinen werden nur summarische Messeffekte ohne stoffliche Differenzierung angezeigt

Typische Anwendungsformen:

- Handgehaltene energieautarke Messtechniken zur unmittelbaren Boden- oder Umgebungsluftmessung,
- Bedingt einsetzbar zur Kontaminationskontrolle ausgekoffelter Bodenproben

Bezüglich sensorischer Gasmessstechniken gibt es eine fast unübersehbare Anzahl von Anbietern und Anbietungsformen.

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe:

- Mehrkanalsensoren von Dräger
- Gasmonitor GA 2000 von Geotechnical Instruments
- Bodenluftmessgerät G 200-X von Fa. Honold
- Handgehaltener PID MiniRae von RAE Instruments

5.1.6 Gaschromatographie - Prinzip der sequentiellen Trennung verdampfbarer Stoffe

	
<p>GC-Voyager (3 Säulen, 2 Detektoren)</p>	<p>Compact-GC (3 Säulen, 3 Detektoren)</p>
	
<p>GCM 5000 komplett</p>	<p>Kopplung DANU-HHSS mit meta-GC</p>

Charakteristik:

- Auftrennung dampfförmig überführbarer Substanzen über die Verteilungsgleichgewichte zwischen mobiler gasförmiger und stationärer Phase in einer Trennsäule
- Trennsäule (Länge, Durchmesser, Art und Dicke der stationären Phase) und Trennbedingungen (Temperatur, Trägergasstrom) bestimmen die Trennleistung.
- Als Trennsäulen werden vornehmlich dünne, innen mit Trennphase beschichtete Quarzkapillaren (Kapillargaschromatographie) benutzt. Typische Parameter solcher Säulen sind: 30 m Länge; Innendurchmesser 0,25 mm; Filmdicke 1 µm.
- Die Substanzen werden sequentiell getrennt und am Säulenausgang durch angekoppelte stoffunspezifische Detektoren (z.B. Wärmeleitfähigkeit (WLD), Photoionisation (PID), Flammenionisation (FID), Elektronen-

Einfang (ECD), elektrolytische Leitfähigkeit) erfasst.

- Der Signal-Zeitverlauf (die sogenannte Peakfläche) ist ein Maß für die Substanzmenge bzw. Konzentration, die Zeit zwischen Probenaufgabe und Peakdetektion (die sogenannte Retentionszeit) ein Maß für die stoffliche Zuordnung.
 - Autosamplertechniken (u. a. Dampfstrahmanalytik von Wasserproben) sind bei vielen der angebotenen GC's direkt ankoppel- und steuerbar.
 - Primäres Anwendungsfeld der meisten GC's ist die Prozessanalytik.
 - Erreichbare relative Nachweisgrenzen (Konzentrationen) unter Feldbedingungen sind abhängig von den zu bestimmenden Substanzen, dem gewählten Detektor und der Art und Weise der Probenaufarbeitung und Anreicherung. Im Allgemeinen liegen diese bei < 1mg/kg Feststoff, bei < 10 µg/l Wasser und bei < 1 mg/m³ Bodenluft.
 - Die Gerätekosten liegen zwischen 10 – 50 T€.
- Probleme:
- Das Verfahren ist kalibrierbedürftig. Identifikationen unbekannter Substanzen (das sogenannte Non-Target-Screening) sind nicht möglich.
 - Prüfgase erforderlich
 - Wegen der Einschränkungen bezüglich Säulenauswahl und -parameter kommt es zu Fehlidentifikationen bei komplexen Stoffgemischen.
 - Der Betrieb des GC besonders unter mehrtägigen Feldbedingungen erfordert eine externe Energie- und Trägergasversorgung (Druckgasflaschen).
 - Je nach Einlasssystem, Probenart und Anforderungen sind unterschiedliche Probenaufarbeitungsschritte erforderlich.
 - Der Einsatz von ECD-Detektoren (Ni⁶³ – Strahlenquelle) zur stoffgruppenspezifischen LHKW-Bestimmung erfordert den entsprechenden Fachkundenachweis (Strahlenschutz) und die Zustimmung der zuständigen Aufsichtsbehörde (in NRW Bezirksregierung).
 - Der Gerätebediener muss über erhebliches fachspezifisches Wissen verfügen.


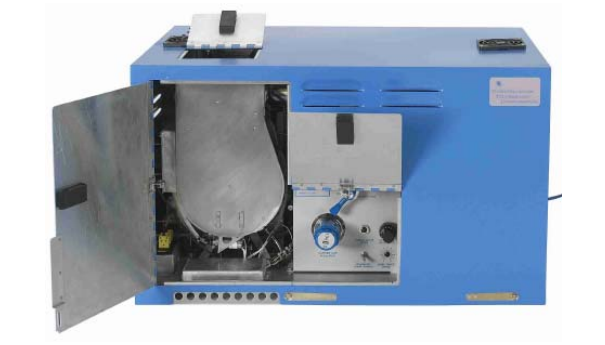
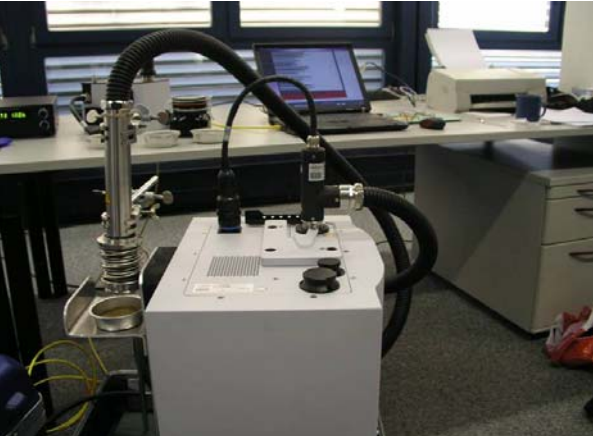

Typische Anwendungsformen:

- Handgehaltene, bedingt autarke Messtechniken zur unmittelbaren Bodenluftmessung (Gasinjektion, Schleifendosierung)
- Transportable, tragbare Gerätesysteme für unzersetzt verdampfbare Substanzen aus Boden /Feststoff, Bodenluft und Wasser

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe sind:

- Handgehaltener tragbarer GC Voyager von Photovac (Vertrieb ansyco)
- Compact-GC von Axel Semrau (Vertrieb)
- GC von meta
- Micro-GC GCM 5000 von SLS
- Syntech Spectras GC955 series 600 von Synspec b.v.
- Micro-GC CP 4900 von Varian

5.1.7 GC/MS-Kopplungen - Prinzip der Detektion von Fragmentmustern

	
<p>HAPSITE der Fa. Inficon mit ankoppelbarem 4-Proben-Headspacesamplers</p>	<p>CT 1182 der Fa. Constellation Technology Corporation – Vertrieb Axel Semrau GmbH</p>
	
<p>E2M der Fa. Bruker Daltonik mit angekoppelter Bodenspürsonde</p>	<p>E2M-Messkonfiguration mit Probenaufbereitung beim Feldtest Köln-Deutz</p>

Charakteristik:

- Kopplung eines Gaschromatographen mit einem Massenspektrometer als Substanzdetektor für unzerstört verdampfbare Stoffe wie LHKW, BTEX, Diesel- und Ottokraftstoffe, Schwefelorganika, PAK, Pflanzenschutzmittel, Phenole, PCB aus Boden/Feststoff, Bodenluft und Wasser.
- Das Säulenende ist mit dem Einlass des Massenspektrometers verbunden. Das Massenspektrometer ist ein Hochvakuumssystem (10^{-6} mbar).
- Die aus dem GC austretenden Substanzen werden in einer Ionenquelle mit 70 eV-Elektronen beschossen. Dabei entstehen neben dem Molekülion geladene Bruchstücke (Fragmente) unterschiedlicher Masse. Die Auftrennung der einzelnen Massenfragmente erfolgt im Quadrupol des Massenspektrometers.
- Das Fragmentmuster ist charakteristisch für die betreffende Substanz und wird zur Identifizierung benutzt. Dafür wird mittels beigefügter Software ein Vergleich der Massenmuster einer Standardbibliothek (bspw. NIST-Datenbank) mit dem Massenmuster des unbekannten Peaks vorgenommen.

- Probleme:
- Erreichbare relative Nachweisgrenzen (Konzentrationen) unter Feldbedingungen sind abhängig vom Schadstoffprofil, von der zu bestimmenden Substanz sowie der Art und Weise der Probenaufbereitung und Anreicherung.
Im Allgemeinen liegen diese bei < 1mg/kg Feststoff, bei < 10 µg/l Wasser und bei < 1 mg/m³ Bodenluft.
Der Messbereich des Messverfahrens ist >10³.
 - Die Gerätekosten übersteigen 100 T€.
 - Das Verfahren ist kalibrierbedürftig.
 - Wegen der Einschränkungen bezüglich Säulenauswahl und -parameter kommt es zu Fehlidentifikationen bei komplexen Stoffgemischen.
 - Je nach Einlasssystem, Probenart und Anforderungen sind unterschiedliche Probenaufbereitungsschritte erforderlich.
 - Der Gerätebediener muss über erhebliches fachspezifisches Wissen verfügen.

Typische Anwendungsformen

- Installation der Messtechnik in speziellen Messfahrzeugen.
- Transport und Betrieb auch in normalen PKW's möglich.
- Die Geräte sind tragbar (<40 kg) und damit in beliebiger Umgebung einsetzbar.

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe sind:

- CT 1182 von Constellation Technology (Vertrieb Axel Semrau GmbH)
- E2M von Bruker Daltonik
- HAPSITE von Inficon (Vertrieb Leopold Siegrist GmbH)

Besondere Geräteeigenschaften:

Das CT 1182 ist ein so genanntes Direkteinlass-System mit zwei Turbopumpen und benötigt eine Trägergasversorgung (H₂, He oder N₂) über Druckgasflaschen. Der Split/Splitless-Eingang erlaubt die Ankopplung kommerzieller Autosamplersysteme. Die analytische Qualität entspricht weitgehend üblichen Laborgeräten. Es ist mechanisch nur gering gehärtet und kann weder im standby- noch im Messbetrieb transportiert werden.

Das HAPSITE ist ein Membraneinlass-System, vornehmlich für die VOC-Analytik geeignet, und benötigt eine Trägergasversorgung (N₂) über Druckgasflaschen. Das Hochvakuum wird mittels Getterpumpe aufrechterhalten. Über integrierte Akkus ist kurzzeitig ein isothermer Spürbetrieb für VOC ohne äußere Energieversorgung möglich. Dabei kann das System mittels Schulterriemen transportiert werden. Wegen des geringen Massebereiches und der niedrigen GC-Temperaturen sind höhersiedende Verbindungen wie mehr als vierfach chlorierte PCB's nicht detektierbar.

Das E2M ist ebenfalls ein Membraneinlass-System. Das Hochvakuum wird mit einer speziellen Langlebensdauer-Getterpumpe aufrechterhalten. Im Gegensatz zu den anderen Systemen wird als Trägergas im Gerät erzeugte Reinluft verwendet. Neben der speziellen Härtung des Systems, welches auch den Messbetrieb in bewegten Fahrzeugen gestattet, verfügt das E2M über eine Hochtemperaturspürsonde (Kurzsäulen-Linear-GC) mit einem bis auf 240⁰C beheizbaren Sondeneinlauf. Damit können in einer Art offener Headspace organische Kontaminanten durch direktes Aufsetzen auf sondierte Bodenproben detektiert werden. Wegen der modularen Struktur des Systems können im Minutentakt Spürsonden oder GC's während des Messbetriebes gewechselt werden.

5.1.8 Röntgenfluoreszenz - Prinzip der Anregung charakteristischer Röntgenstrahlung



Charakteristik:

- Anregung charakteristischer Röntgenfluoreszenzstrahlung von Atomen durch Anregung mit energiereicher Strahlung (Elektronen-, Teilchen-, Röntgen-, Gammastrahlung) unter Aussendung elementspezifischer $K\alpha$ - Strahlung).
- Elementspezifische Abhängigkeit der Wellenlängen der emittierten $K\alpha$ -Strahlung (Gesetz von Moseley).
- Spezielle Anwendungsform für Handgeräte ist die energiedispersive Röntgenfluoreszenz (EDRFA), bei der die emittierte Fluoreszenzstrahlung mittels Detektor und Vielkanalanalysatorkopplung nach ihrer Energie zerlegt wird. Die Peaklage dient der Elementidentifizierung, die Peakhöhe der Quantifizierung.
- Unterscheidung von Feldmessgeräten nach Art der Anregung zwischen Radionuklidquellengeräten und Röntgenröhrengeräten.
- Beide Systeme sind handgehalten verfügbar.
Radionuklidquellengeräte brauchen nur eine Energieversorgung für die Mess-, Steuer- und Auswerteelektronik. Als Radionuklidquellen werden Fe-55, Cd-109, Am-241 und Cm-244 benutzt. Die Quellenaktivität bestimmt die erreichbare Nachweisgrenze.
- Mit handgehaltenen Röhrengeräten werden Nachweisgrenzen für die in der BBodSchV aufgelisteten Elemente von < 100 mg/kg, für einige (u.a. Pb, Cd, Hg) von < 10 mg/kg erreicht.
- Die Elemente (ohne Evakuierung der Probe) sind von Schwefel (OZ 16) bis Uran (OZ 92) bestimmbar.
- Bodenproben sind ohne Aufbereitung in der Rammkernsonde messbar.
- Die Messungen erfolgen punktförmig infolge der Strahlengeometrie der Röntgenstrahlenquelle mit eingeschränkter Eindringtiefe (Strahlenabsorption).
- Eine verbesserte Präzision wird durch Trocknung und Mahlen der Bodenproben erreicht.
- Für eine sachgerechte Bedienung und Interpretation ist eine ausgewiesene Fachkompetenz erforderlich.

- Probleme:
- Der Betrieb der Geräte ist nach Röntgenverordnung (RöV) genehmigungspflichtig. Der Betreiber muss einen entsprechenden Fachkunde nachweis (Strahlenschutzbeauftragter) besitzen. Der Einsatz an anderen Standorten als an dem Genehmigungsort bedarf der Zustimmung der jeweiligen zuständigen Behörde (in NRW: Bezirksregierung). Eine Zulassung im gesamten Geltungsbereich der RöV ist möglich. Der Einsatz muss dann nur der am Einsatzort zuständigen Behörde angezeigt werden. U.a. bietet die Fa. Servantech Strahlenschutzkurse an und übernimmt die Formalitäten des Genehmigungsverfahrens.
 - Die Gerätekosten für handgehaltene Messtechniken liegen bei 50 T€. - Das Verfahren ist kalibrierbedürftig. Kalibrierstandard und Probe sollten sich in den Matrixkomponenten entsprechen. In bestimmtem Umfang lassen sich Matrixunterschiede korrigieren (Fundamental Parameter Method).
 - Bei nicht aufbereiteten Proben (Heterogenität von Matrix und Kornverteilung) können erhebliche Bestimmungsfehler auftreten.
 - Störungen treten bei Spektrallinieninterferenzen auf, wenn im Energiebereich der $K\alpha$ -Linie des zu bestimmenden Element die $K\beta$ oder $L\alpha$ -Linie eines anderen Elementes liegt (Beispiel As-Pb).
 - Geräte mit Radionuklidquellenanregung haben wegen der Halbwertzeiten der Nuklide einen zeitlichen Empfindlichkeitsabfall.

Typische Anwendungsformen:

- Transportable Laborgeräte mit Röntgenröhre.
- Handgehaltene, bedingt energetisch autarke Messgeräte mit Radionuklidquellenanregung oder Röntgenröhre (Anwendungstrend)

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe sind:

- XL3t von NITON, Vertrieb Fa. Analyticon
- S1 Turbo SD von Bruker AXS
- Import Guard von INNOV-X
- i/xSort von Spectro

5.1.9 Drucksondierung - Prinzip der Aufnahme von Vertikalprofilen (Geologie und Chemie)

	
<p>Drucksondierfahrzeug</p>	<p>Raupensondiergerät mit Druck-/Schlagsondier- Technik</p>

Charakteristik:

- Quasikontinuierliche In-situ Aufnahme charakteristischer geophysikalischer und stofflicher Parameter während des Sondiervorganges (sog. Direct-Push-Verfahren).
- Direct-Push ist ein Oberbegriff für unterschiedliche Erkundungstechniken und deren Kombinationen. Dazu gehören Sensorsonden (Spitzendruck, Mantelreibung (Cone Penetration Testing CPT-Sonde), Leitfähigkeit (LF-Sonde), Porenwasser, Magnetik, Injektions-Logging) für geologische und hydrogeologische Messungen, stoffspezifische Sensoriken (ROST-Sonde, MIP –Sonde (Membrane Interface Probe)) zur Ermittlung vertikaler Schadstoffprofile und verschiedene Probenahmesysteme für die in-situ-Probenahme von Boden und Wasser.
- Der Sondiervortrieb erfolgt entweder drückend durch Auflast („Fugro“-Technologie – Auflast bis 20 t) oder schlagend („Geoprobe“-Technologie – dynamischer Percussionshammer – Schlagkraft bis 40 t).
- Eine neue Vortriebstechnik ist die Hochfrequenzsondierung (SonicSampDrill-Technologie), die allerdings zurzeit noch über keine integrierte Sensorik verfügt.
- Das methodische Prinzip der **ROST-Sensorik** besteht in der Anregung von Fluoreszenzstrahlung bei aromatischen Kohlenwasserstoffen mittels Laserstrahlung (LIF = Laserinduzierte Fluoreszenz), die via Quarzfaserkabel und Saphirfenster in den fensternahen Bodenbereich geleitet wird. Die erzeugte Fluoreszenzstrahlung wird über das Saphirfenster und ein zweites Quarzfaserkabel einem Spektrometer zugeführt. Struktur des Fluoreszenzspektrums und Zeitabhängigkeit gestattet eine Zuordnung zur Kontaminationsart (z.B. Benzine, Dieselkraftstoffe). Die Fluoreszenzintensität ist ein relatives Maß für die Konzentration. Wegen der mechanischen Belastungsgrenzen ist die ROST-Sonde nur im drückenden Betrieb anwendbar.
- Die **MIP-Sensorik** (Membran Interface Probe) ist vom Prinzip her eine offene Headspace-Technik, bei der eine an der Außenseite des Sondierkopfes angebrachte beheizte Membran flüchtige Organika verdampft. Der gebildete Dampf permeiert durch die Membran in eine Membrankammer und wird mittels Stickstoffstrom über eine Teflonkapillarschlauchleitung (Standard 20 m) geeigneten Detektoren (FID, PID, DELCD) zugeführt. Die Detektoren sprechen

unterschiedlich auf die flüchtigen organischen Substanzen an (DELCD z.B. spezifisch auf LHKW). Die entsprechenden Signalmuster bei Parallelschaltung der Detektoren gestatten in gewissem Umfang eine Zuordnung auf die Stoffgruppe. Selektive Einzelstoffbestimmungen sind nicht durchführbar. Desgleichen sind Angaben von Schadstoffkonzentrationen nur als summarische Schätzgrößen möglich. Beide Messverfahren dienen zur qualitativen bis maximal halbquantitativen Bestimmung von organischen Verbindungen

- Probleme:
- Die Umsetzung geophysikalischer und chemischer Sondensignale in Aussagen zur Beschaffenheit des Untergrundes bedarf umfangreicher fachspezifischer Erfahrungen und Kenntnisse.
 - Die Anwendung von Drucksondiertechniken ist spezialisierten Ingenieurbüros vorbehalten. Drucksondiertechniken mit chemischer Sensorik gehören zu den effektivsten Methoden einer raschen und kostengünstigen Erkundung von Altlastflächen.
 - Die Nachweisgrenzen bewegen sich im oberen mg/kg-Bereich und sind abhängig von der Art des Kontaminantenprofils. Die komplexen Gerätekosten bewegen sich im Bereich mehrerer 100 T€.
 - Einschränkungen bei der Sondierung in grobkiesigen Lockergestein und Sedimenten mit hoher Proctordichte (z.B. Glimmersande).
 - Sondenabrisse beim Durchhörern komplex strukturierter Bodenformationen (z.B. Fundamenteinlagerungen)
 - Schadstoffverschmierungen an der Fenster- oder Membranoberfläche.
 - Abriss oder Leckagen der Eintrittsmembran.
 - Kontaminationsprofil in der unbeheizten Teflonleitung, Wasserkondensation, Wirkung als GC-Kapillare (Die Fa. Fugro verwendet deshalb beheizbare Teflonleitungen).

Typische Anwendungsformen:

- Integration der gesamten Sondier-, Steuerungs- und Messtechnik in einem LKW (Drucksondiertechnik – Fugro).
- Aufbau der Technik auf einem extrem geländegängigen Raupenfahrzeug (schlagende Technik von Geoprobe) mit separat angeordneter (offener) Messtechnik.

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe sind:

- Drucksondier-Technik (Fugro)
- Druck-/Schlagsondier-Technik (Geoprobe)

5.1.10 Biolumineszenzverfahren - Prinzip der Chemolumineszenzmessung



Charakteristik:

- Photometrische Ermittlung der Toxizität von Substanzen über die Hemmung der natürlichen Leuchtleistung (Lumineszenz) mariner Bakterien im Vergleich zu unbelasteten Organismen.
- Bestimmung der akuten Toxizität nach DIN EN ISO 11348 (Leuchtbakterien-Test unter Verwendung gefriergetrockneter oder flüssiggetrockneter Leuchtbakterien vom Typ *Vibrio fischeri*).
- Testkriterium ist die nach einer Kontaktzeit von 30 min gemessene Leuchtintensitätsabnahme gegenüber Kontrollansätzen.
- Verfahren und Gerätetechnik sind für den Feldeinsatz ausgereift.
- Der Leuchtbakterientest ist ein Test für wässrige Medien und zur Überwachung von Abwässern der chemischen Industrie, von Deponiesickerwässern und Kühlwässern vorgeschrieben.
- Die Untersuchung von Feststoffen ist über die Messung wässriger Extrakte nach deren Filtration möglich.
- Feststoffmessungen sind nicht genormt.
- Zeitbedarf und Ausführungsaufwand sowie Anforderungen an die Qualifikation des Bedienpersonals sind gering.
- Messtechnik und Verbrauchsmaterial sind preiswert.

Probleme:

- Die Methode ist nicht zur Identifizierung bzw. Konzentrationsbestimmung von Schadstoffen geeignet. Relative Veränderlichkeiten sind ermittelbar (Sanierungsfortschritt, Schadstoffraster), sofern keine Veränderungen im Schadstoffprofil auftreten (s. a. LFU-Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 23/96; Biotest-Ringversuch LUA NRW 2006).
- Die schnelle Wasserextraktion von Bodenproben ist nicht geregelt und schlecht reproduzierbar. Trübungen stören die photometrische Messung.

Typische Anwendungsformen:

- Transportable Küvettenphotometer mit Batteriebetrieb sowie komplex feldfähiges Zubehör für die Messung wässriger Proben und Bodenproben.
- Reaktionsküvetten für wässrige Proben

Beispiele für Vertreter dieser Gruppe sind:

- Safe Soil Tester von Crown Bio Technology
- DR 3800 von Hach Lange
- Luminometer BioFix Lumi-10 von Macherey-Nagel

5.2 Geophysikalische Methoden zur Untersuchung von Altstandorten und Altablagerungen

Die angewandte Geophysik untersucht die Verteilung der physikalischen Parameter im oberflächennahen Boden durch zerstörungsfreie Messungen. Geophysikalische Methoden werden eingesetzt, um ein räumliches Modell des Untersuchungsgebietes abzubilden, Störungszonen nachzuweisen sowie das Vorhandensein von Kabeln, Röhren, Behältern und Fundamenten im Untergrund zu detektieren. Darüber hinaus bieten geophysikalische Methoden die Möglichkeit, Altablagerungen und Altstandorte sowie ggf. Kontaminationsfahnen aufzufinden und abzugrenzen.

Die angewandte Geophysik reduziert die Unsicherheit der Flächencharakterisierung, da sie sowohl die horizontale als auch die vertikale Verbreitung der geologischen Strukturen und Schadstoffquellen angibt.

Zur Erkundung von Altstandorten und Altablagerungen werden konventionell meist geologisch-geotechnische Verfahren eingesetzt (z.B. Bohrungen). Dagegen können geophysikalische Verfahren zerstörungsfrei flächendeckende Aussagen über die laterale und vertikale Ausdehnung einer Ablagerung liefern. Sie sollten daher Grundlage für die Planung eines gezielten Bohrprogramms und geochemischer Messungen vor Ort sein. Dadurch kann die Anzahl der Bohrungen reduziert und die Untersuchung preisgünstiger gestaltet werden. Die geophysikalischen Messungen liefern auch Informationen über die Bohrzwischenräume und über Bereiche, in denen nicht gebohrt werden kann. Sie können Bohrungen allerdings nicht vollständig ersetzen.

Die angewandte Geophysik bietet für die Erkundung von Verdachtsflächen ein breites Spektrum von Methoden an. Die wichtigsten davon, Seismik, Geoelektrik, Geomagnetik, Elektromagnetik und Georadar, sind bereits vielfach in den Ingenieurwissenschaften erprobt worden. Für Sonderaufgaben kommt auch Gravimetrie zur Anwendung. Diese Methoden sprechen auf unterschiedliche physikalische Parameter des Untergrundes an und haben sich in der Umweltgeophysik bewährt.

Notwendige Voraussetzung für den sinnvollen und erfolgreichen Einsatz geophysikalischer Methoden ist das Vorhandensein von Kontrasten der physikalischen Parameter im Untergrund (spezifischer Widerstand, seismische Geschwindigkeit, Magnetisierung, Dichte, etc.). Vor einer geophysikalischen Messung sollte durch Modellrechnungen mit synthetischen Daten (Erfahrungswerte von Flächen mit ähnlichen Untergrundverhältnissen) untersucht werden, ob die gesuchte Anomalie mit der vorgeschlagenen Methode zu erkunden ist. Darüber hinaus sollten künstliche Störungen durch Industrie, Verkehr, Bebauung und Versiegelung berücksichtigt werden, um die Erfolgsaussicht einer geophysikalischen Methode abzuschätzen.

Erfahrungsgemäß unterscheiden sich Altablagerungen oder Inhomogenitäten in den Altstandorten durch eine Reihe physikalischer Parameter wie Magnetisierung, Leitfähigkeit und Wellengeschwindigkeit signifikant von ihrer Umgebung. So ist z.B. die Ausbreitung seismischer Wellen in einer Altablagerung deutlich geringer als im ungestörten Boden. In der Regel heben sich auch Ablagerungen und Anomalien in den Altstandorten durch ihre niedrigen spezifischen elektrischen Widerstände von ihren Umgebungsgesteinen ab. Sie schaffen somit günstige Voraussetzungen für den Einsatz geoelektrischer und elektromagnetischer Methoden. Aufgrund der höheren Magnetisierbarkeit des Materials in den Altablagerungen und Altstandorten zeigen sich über diesen Standorten ausgeprägte magnetische Anomalien.

Geophysikalische Methoden auf Verdachtsflächen sollten so kombiniert werden, dass die eingesetzten Methoden sich ergänzen. Zur Ermittlung dieser Kombination ist die NORISC-Entscheidungssoftware gut geeignet. Entsprechende Kontraste vorausgesetzt, werden dann jene geophysikalischen Methoden gewählt, mit denen rasch und kostengünstig die gewünschten Ergebnisse zu erzielen sind.

In diesem Kapitel werden die in der Praxis erprobten geophysikalischen Methoden kurz vorgestellt. Dabei werden Prinzip der Methode, Anwendungsmöglichkeiten, Messgeräte, Messgröße und Interpretationsmethoden beschrieben sowie Literaturangaben gemacht. Diese Informationen bilden auch die Grundlage für die geophysikalische Methodenempfehlung bezüglich der Untersuchung einer Verdachtsfläche mit der NORISC-Entscheidungssoftware. Dabei wird in der Entscheidungssoftware der personelle, technische und zeitliche Aufwand einer geophysikalischen Methode berücksichtigt und ein kostengünstiger Vorschlag gemacht. Die Durchführung solcher Leistungen wird von fachkundigen geophysikalischen Firmen angeboten. Da künstliche Störungen durch Industrie, Bebauung usw. geophysikalische Messungen stark beeinflussen, sind die Anwendungsmöglichkeiten einzelner Methoden eingeschränkt. Diese Anwendungseinschränkungen werden in der NORISC-Entscheidungssoftware für die Auswahl der Methode berücksichtigt.

Schon Ende der 80er Jahre ließ die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg mehrere Modelstandorte von Altlasten hinsichtlich der Effizienz geophysikalischer Methoden untersuchen (Vogelsang, D., und Schirmer, W., 1990). Ziel war - außer der Lokalisierung verdeckter Altlasten - die Eingrenzung der Schadstoffverbreitung innerhalb und außerhalb der Altlasten. Von den eingesetzten Verfahren bewährten sich insbesondere die Geomagnetik und die Geoelektrik bzw. die Elektromagnetik.

Der Nutzen der Geophysik bei solchen Vorhaben wurde nicht nur innerhalb von Europa untersucht. Die amerikanische Umweltbehörde (EPA; 1993) hat sich ebenfalls ausführlich mit ähnlichen Ergebnissen dieser Fragestellung gewidmet.

Eine zunehmende Anzahl von Publikationen in den 90er Jahren belegt die Relevanz der Geophysik in der Altlastenerkundung. Vogelsang (1993) gab einen Leitfaden für Nicht-Geophysiker heraus, der als Entscheidungshilfe zur Methodenauswahl dienen soll. Knödel et al. (1997) erläutern die Theorie und geben in vielen praktischen Beispielen eine Übersicht über die Anwendbarkeit unterschiedlicher Verfahren bei Fragestellungen in der Altlastenproblematik. Ward (1990) präsentiert Beiträge über verschiedene geophysikalische Untersuchungen auf Altstandorten.

Die genannten Veröffentlichungen stellen Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Methoden auf Verdachtsflächen vor, jedoch keinen integrierten Ansatz, in dem auch geologisch-geochemische Methoden berücksichtigt werden.

Innerhalb des EU-NORISC Projektes wurde dieser Ansatz realisiert. Perk (2006) beschreibt in vielen praktischen Beispielen die gemeinsame Anwendung verschiedener geophysikalischer, geotechnischer und chemischer Methoden zur Untersuchung von Verdachtsflächen und stellt die Ergebnisse unterschiedlicher Verfahren mit einer Visualisierungssoftware dar.

5.2.1 Geoelektrik

Prinzip:

Das Messprinzip beruht darauf, dass über zwei geerdete Stromelektroden ein Gleichstrom in den Untergrund eingespeist wird. Dabei baut sich ein räumliches Potenzialfeld auf, das von der Leitfähigkeitsstruktur des Untergrundes beeinflusst wird. Aus der Vermessung des Potenzialverlaufs an der Erdoberfläche lassen sich Aussagen zur Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund ableiten. Die elektrische Leitfähigkeit ist abhängig von Materialeigenschaften wie Porosität und Wassersättigung.

Anwendungsmöglichkeiten:

- Hohlräume, Stollen
- Lokalisierung und Abgrenzung von Altlasten
- Beobachtung von Schadstoffausbreitung
- Abgrenzung lithologischer Einheiten, Grundwasserprospektion

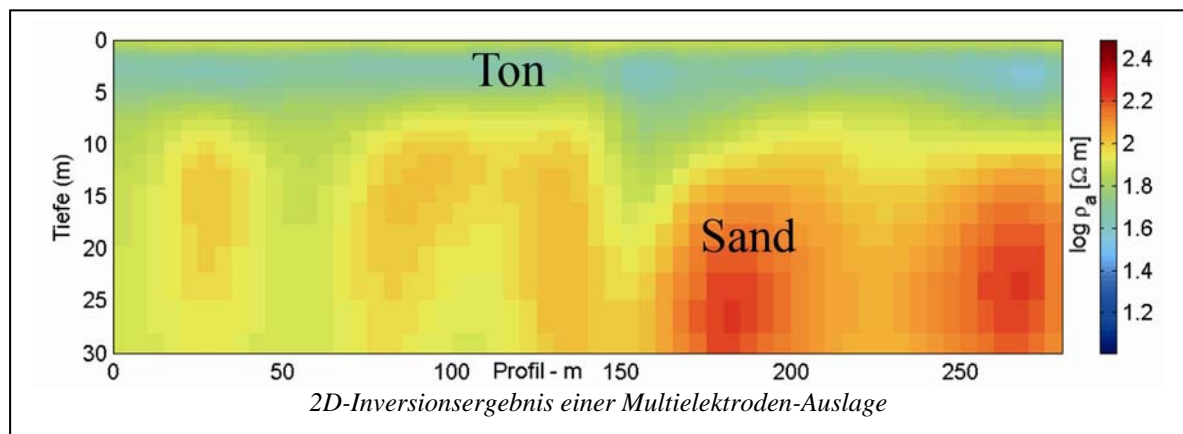
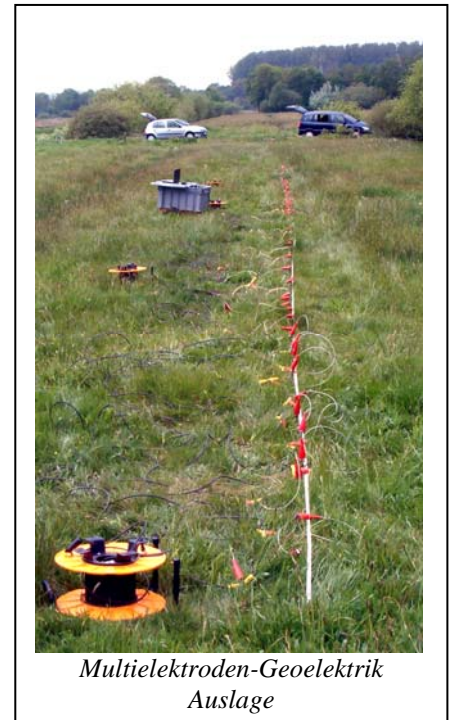
Messgröße: Scheinbarer Widerstand in Ωm .

Messgeräte:

Einfache 4-Elektroden Apparaturen sowie moderne Multi-Elektroden Apparaturen mit z.B. bis zu 56 Elektroden

Bearbeitung und Interpretation:

Standardmäßig lassen sich die scheinbaren Widerstände, die mit Multi-Elektroden Apparaturen gemessen werden, mit 2D / 3D Inversionsalgorithmen interpretieren. Je nach Fragestellung können auch 1D Inversionen einzelner Sondierungspunkte wertvolle Informationen über die Leitfähigkeitsverteilung des Untergrundes liefern.



5.2.2 Eigenpotenzialmethode

Prinzip:

Eigenpotenziale sind natürliche lokale Gleichstromfelder. Ursachen der Eigenpotenziale sind elektrochemische und elektrokinetische Vorgänge. Elektrokinetische Vorgänge sind mit der Bewegung des Wassers im Untergrund verbunden. Elektrochemische Prozesse führen zur Entstehung von Redox- und Diffusionspotenzialen. Hauptursache für das Auftreten lokaler Gleichstromfelder sind gegenseitige Kontakte unterschiedlicher Gesteine, Erzeinlagerung, wasserhaltige Gesteine. Die Potenzialverteilung der Gleichstromfelder können Informationen über Inhomogenitäten im Untergrund liefern. Die Eigenpotenzialmethode ist ein einfaches und kostengünstiges Verfahren.



Messgeräte für eine Eigenpotenzialmessung im Wasser

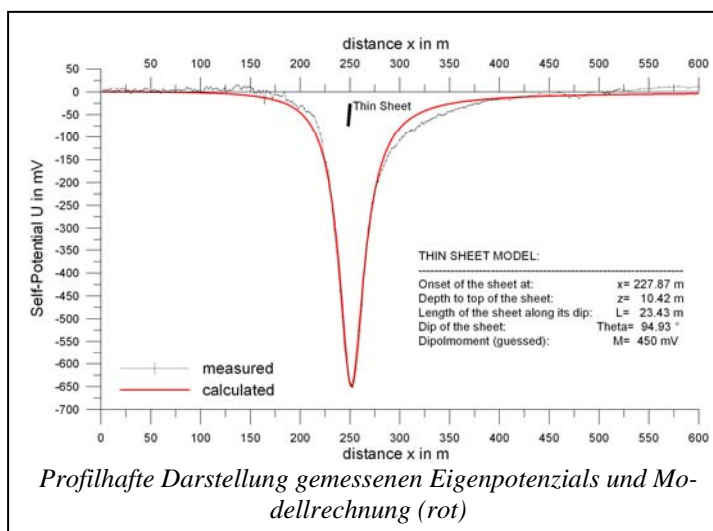
Anwendungsmöglichkeiten:

- Auffinden von Erzlagerstätten.
- Auffinden und Abgrenzung von Deponien.
- Lokalisierung metallischer Ablagerungen, Hohlraumerkundung.

Messgeräte:

Die Messungen werden mit unpolarierten Elektroden durchgeführt. Die Messung erfolgt mit einem hochohmigen Digitalvoltmeter.

Bearbeitung und Interpretation:



Grundlage der Interpretation bildet die Darstellung der Auswertergebnisse in Profilform und als Isolinien- oder Flächenplot. Die Interpretation beschränkt sich im Allgemeinen auf die Abgrenzung von Anomaliebereichen.

5.2.3 Induzierte Polarisation

Prinzip:

Die Induzierte Polarisation (IP) ist eine geoelektrische Methode, bei der die Frequenzabhängigkeit der Gesteine berücksichtigt wird. Beim Abschalten eines Gleichstromes macht sich IP dadurch bemerkbar, dass die Spannung zunächst abrupt und dann exponentiell absinkt. IP erlaubt die Messung zusätzlicher, vom Gleichstromwiderstand unabhängiger, materialspezifischer elektrischer Parameter und erlaubt stoffliche und strukturelle Aussagen. Ursache des IP sind elektrochemische Vorgänge, die auf dem Wechsel zwischen elektronischer und elektrolytischer Leitfähigkeit sowie auf Variationen in der Beweglichkeit von Ionen im Porenraum der Gesteine beruhen.

Anwendungsmöglichkeiten:

- Nachweis von Störungszonen.
- Lokalisierung und Abgrenzung von Altlasten.
- Abgrenzung von tonigen und sandigen Bereichen im Untergrund.

Messgröße:

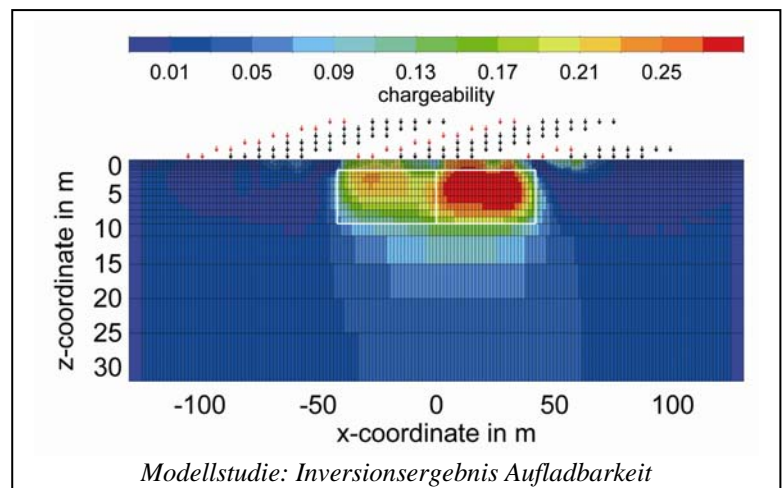
- Messungen im Zeitbereich: Aufladbarkeit und scheinbarer Widerstand.
- Messungen im Frequenzbereich: Frequenzeffekt, Metallfaktor, scheinbarer Widerstand.
- Messungen der spektralen IP: scheinbarer Widerstand als Funktion der Frequenz.

Messgeräte:

Für Zeitbereichs- und Frequenzbereichsmessungen sowie für Messungen der spektralen IP sind eine Reihe kommerzieller Messgeräte verschiedener Hersteller verfügbar.

Bearbeitung und Interpretation:

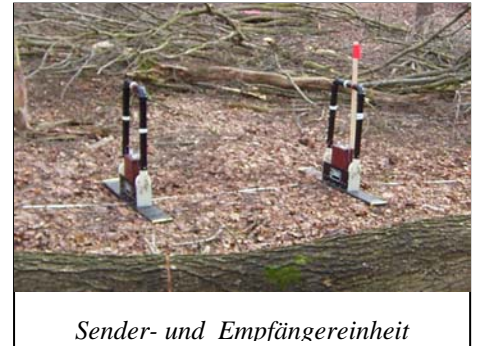
Die scheinbaren Widerstände und Aufladbarkeiten werden in einer zweidimensionalen räumlichen Verteilung (Pseudo-Tiefenschnitt) gezeigt und bilden die Inversionsgrundlage. Für die quantitative Auswertung werden die scheinbaren Widerstände, die Aufladbarkeiten und die Frequenzeffekte mit 1D und 2D Inversionsalgorithmen interpretiert.



5.2.4 Georadar

Prinzip:

In dem Georadarverfahren werden kurze elektromagnetische Impulse verwendet, die von der Oberfläche in den Untergrund abgestrahlt und nach der Reflexion an Schichtgrenzen und Objekten oder der Streuung an Einlagerungen wieder empfangen werden. Dabei werden die Laufzeiten und Amplituden der elektrischen Feldstärke dieser Impulse aufgezeichnet. Die Eindringtiefe hängt von der Arbeitsfrequenz (10 MHz – 1000 MHz) der Antenne sowie von der Beschaffenheit des Bodens ab; in der Regel ist die Eindringtiefe wenige Dezimeter bis hin zu ca. 10 m. In tonigen feuchten Böden ist die Eindringtiefe sehr gering, in trocken sandigen Böden hingegen ist sie hoch.



Sender- und Empfängereinheit

Anwendungsmöglichkeiten:

- Objektortung (Leitungen, Hohlräume, etc.)
- Abgrenzung natürlicher Boden / gestörter Boden (z.B. Verfüllungen)
- Archäologie

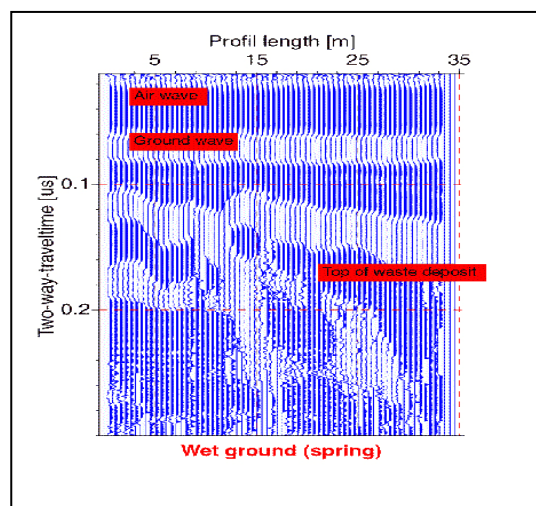
Messgröße: Laufzeit und Amplitude der elektromagnetischen Welle.

Messgeräte:

Radarapparaturen bestehen aus einem Impulsgenerator, einer Antenne zur Abstrahlung des hochfrequenten elektromagnetischen Impulses und einer weiteren Antenne zum Aufnehmen von direkten und reflektierten Impulsen, sowie einem Empfangssystem, das die Impulse speichert und grafisch darstellt. Je nach Hersteller haben die Geräte eine unterschiedliche Bauweise.

Bearbeitung und Interpretation:

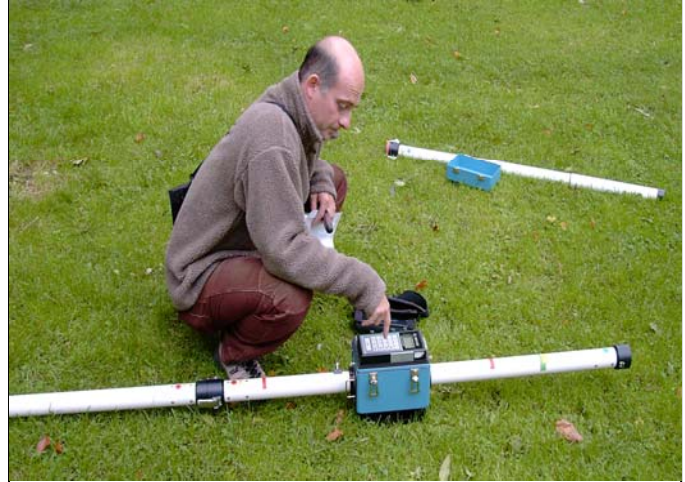
Die Laufzeiten und Amplituden der elektromagnetischen Welle werden als Radargramm aufgezeichnet. Die Interpretation eines Radargramms erfordert große Erfahrung. Meist wird aus der Lage des Scheitelpunktes der Hyperbel direkt auf die Lage des Störkörpers im Untergrund geschlossen. Im Falle einer geringen Absorption können Migrationsprogramme angewendet werden, um die Interpretation zu erleichtern.



5.2.5 Elektromagnetische Zweispulensysteme (EM 34, EM 31, EM 38 und MaxMin-Messgeräte)

Prinzip:

Elektromagnetische Zwei-Spulen-Systeme sind aktive Verfahren, die zur Erzeugung der elektromagnetischen Felder transportable Sender verwenden. Das primär vom Sender abgestrahlte elektromagnetische Feld erzeugt über die leitfähigen Strukturen im Untergrund ein sekundäres Feld. Am Empfänger wird mit einer Luft- oder Ferritkernspule eine magnetische Komponente des resultierenden Gesamtfeldes registriert. Der Abstand zwischen Sender und Empfänger bestimmt, neben der Arbeitsfrequenz, die Eindringtiefe. Die Frequenzen und Spulenabstände müssen jeweils aufeinander abgestimmt gewählt werden. Die Geräte können mit einer (EM 31) bzw. mit zwei Personen bedient werden. Die Spulen müssen gut horizontalisiert bzw. vertikal ausgerichtet sein und der Spulenabstand muss exakt eingehalten werden.



Messgerät EM 31.

Anwendungsmöglichkeiten:

- Lokalisierung und Abgrenzung verdeckter Ablagerungen.
- Erkundung von Kluftzonen, Lokalisierung vergrabener metallischer Objekte.
- Erkennung von lateralen Materialwechsell.

Messgröße:

Bei der EM 31, EM 38 und EM 34-3 wird durch eine bestimmte feste Kombination von Spulenabstand und Arbeitsfrequenz erreicht, dass die Geräte direkt die scheinbare Leitfähigkeit des Untergrundes in mSm^{-1} zeigen. Dies wird auch für Maxmin-Systeme benutzt.

Messgeräte: EM 31, EM 34, EM 38 und Maxmin-Systeme.

Bearbeitung und Interpretation:

Die gemessenen scheinbaren Leitfähigkeiten werden für eine qualitative Auswertung auf Profilen oder flächenhaft als Isolinien dargestellt. EM 34 bzw. Maxmin Daten können mit Inversionssoftware durch interaktive Kurvenanpassung interpretiert werden.

5.2.6 Transientelektromagnetisches Verfahren und Metalldetektor EM61-Gerät

Prinzip:

Bei dem transientelektromagnetischem Verfahren (TEM) wird das Abklingen eines im Untergrund induzierten Stromsystems nach dem Abschalten eines Sendefeldes beobachtet. Diese Ströme geben durch ihr zeitliches Verhalten Aufschluss über die Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund. Vorteil ist die zeitliche Trennung von Senden und Empfangen. Die Metalldetektoren arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Bei einem Metalldetektor (z.B. EM61-Gerät) sind die Sende- und Empfangsspule direkt aufeinander angeordnet und in ihrer Größe auf den Erkundungsbereich bis 6 m abgestimmt. Nach dem Abschalten des Sendestromes wird dessen Amplitude bei einem Metalldetektor in einem festen Zeitfenster gemessen.



TEM - Sendereinheit NT-20

Anwendungsmöglichkeiten:

- Transientelektromagnetik:
 - Erkundung von Aquiferen.
 - Erkundung geologischer Strukturen im Untergrund.
 - Lokalisierung und räumliche Abgrenzung von Altlasten.
- Metalldetektor:
 - Detektion von Fässern, Leitungen, metallischen Rohrleitungen.
 - Munitions- und Blindgängersuche.

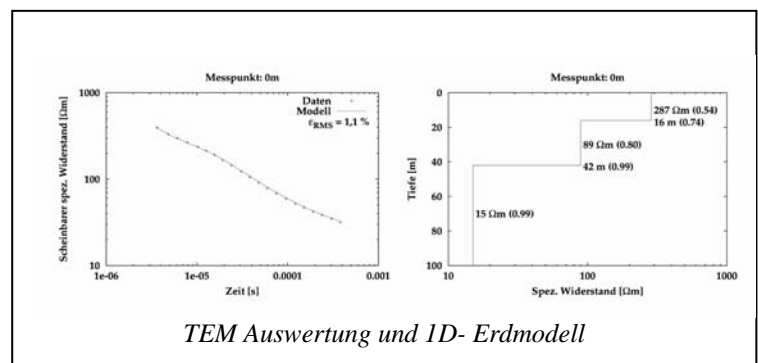
Messgröße: Induzierte Spannungen als Funktion der Zeit.

Messgeräte:

Verschiedene kommerzielle Messgeräte von kanadischen, russischen und australischen Firmen.

Bearbeitung und Interpretation:

Die Messwerte des Metalldetektors (in mV) werden als Isolinienplots dargestellt und darin Anomalien gesucht. Die Daten der Transientelektromagnetik werden meist mit 1D Inversionsalgorithmen interpretiert.



TEM Auswertung und 1D- Erdmodell

5.2.7 Radiomagnetotellurik (RMT), VLF und VLF-R (Very Low Frequency Resistivity)

Prinzip:

RMT, VLF und VLF-R nutzen als Quellsignal elektromagnetische Wellen leistungsstarker Sender im Frequenzbereich von 10 kHz - 1 MHz. Die Wellen erzeugen im Untergrund elektrische und magnetische Felder, die je nach ihrer Frequenz unterschiedlich tief eindringen können. Dazu misst man entweder bestimmte Komponenten des magnetischen Anteils des Wellenfeldes (VLF) oder bestimmte Anteile des magnetischen Feldes und zusätzlich solche des im Untergrund induzierten elektrischen Feldes. In der RMT werden in einem erweiterten Frequenzbereich Messungen durchgeführt. Aus den elektrischen und magnetischen Feldkomponenten werden Übertragungsfunktionen berechnet. Diese sind Grundlage der Interpretation.



RMT Messung (Prototyp Univ. Neuchatel)

Anwendungsmöglichkeiten:

- Lokalisierung von Untergrundstrukturen (Leitungen, Fundamentreste)
- Grundwassererkundung, Deponien und Altlasten
- Ortung von Kluft- / Störungszonen, Verwerfungen, Karst-Hohlräumen, etc.

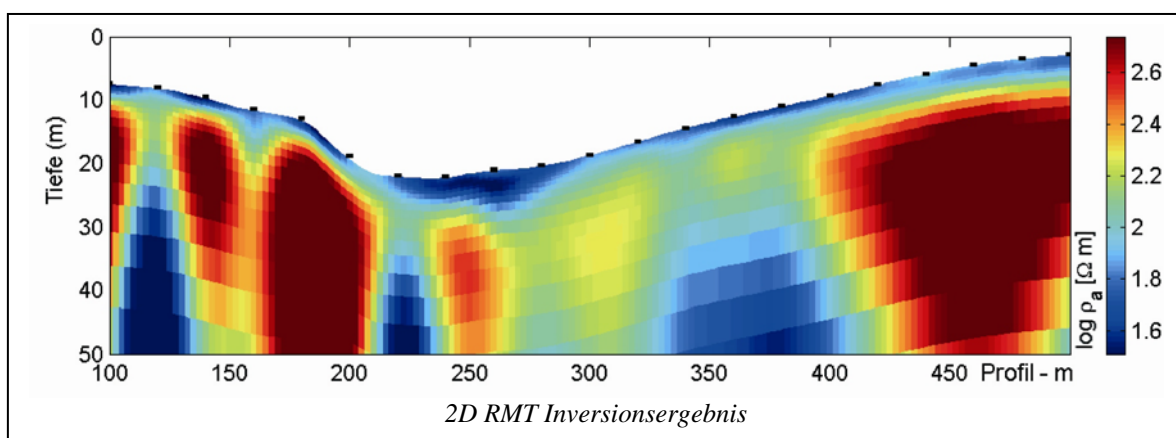
Messgröße: Scheinbarer Widerstand in Ωm für ausgewählte Frequenzen der Radiosender.

Messgeräte:

Kommerzielle VLF und VLF-R Geräte, Prototypen der RMT-Apparaturen (Universität zu Köln, University of Uppsala und Universität Neuchatel).

Bearbeitung und Interpretation:

2D Inversionen der RMT Daten zur Ableitung der Untergrundstruktur werden standardmäßig benutzt, VLF Daten werden profil- bzw. flächenhaft dargestellt und meist qualitativ interpretiert.



5.2.8 Geomagnetik

Prinzip:

Die Geomagnetik untersucht den oberflächennahen Untergrund mit Hilfe von Anomalien des Erdmagnetfeldes, die durch Variationen der magnetischen Eigenschaften der Gesteine oder durch magnetisierende Einlagerungen im Untergrund hervorgerufen werden. Das auf der Erde zu messende Magnetfeld setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen: einem nur sehr langsamen (Jahre bis Jahrzehnte) veränderlichen Hauptfeld (ca. 50.000 nT in NRW), welches aus dem Erdinnern stammt, und einem sich schnell (Sekunden bis Tage) verändernden Feldanteil (10-1000 nT), der seinen Ursprung außerhalb des Erdkörpers hat. Zu diesen globalen Anteilen kommt ein nahezu zeitlich konstantes Anomalienfeld (bis 1000 nT). Als Ursachen dafür sind geologische und anthropogene Anteile (Abfall, Bauschutt, Armierungsreste, etc.) in Altstandorten und Altablagerungen zu sehen.



Anwendungsmöglichkeiten:

- Suche im Untergrund nach Röhren, Kabeln, metallischen Objekten, vergrabenen Militärmaterial (Munition, etc), vergrabenen Metallfässern
- Erkundung von verdeckten Ablagerungen mit magnetisch wirksamen Inhaltsstoffen
- Kartierung von metallhaltigen Erzadern, archäologischen Strukturen, magmatischen Gängen

Messgröße: Totalintensität und/oder Vertikalgradient der Totalintensität, Komponenten des Erdmagnetfeldes.

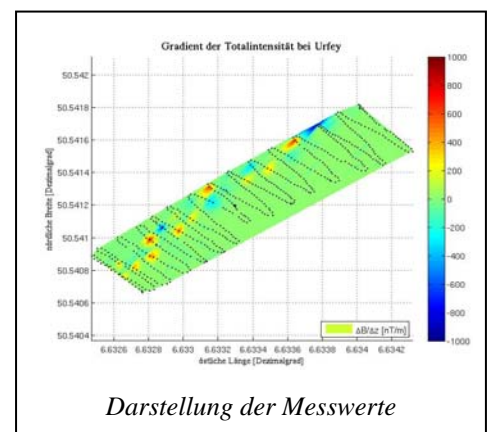
Messgeräte:

Als Messgeräte stehen verschiedene Instrumententypen zur Verfügung:

- a) Protonmagnetometer: große Verbreitung, Messung der Totalintensität, beruht auf der Messung der Präzessionsfrequenz der Protonen im Erdmagnetfeld nach Abschalten eines Polarisationsfeldes, Messgenauigkeit ca 1 nT.
- b) Fluxgate-Magnetometer, Messung der Komponenten des Erdmagnetfeldes, Messgenauigkeit ca. 1 nT.
- c) Absorbtionszellenmagnetometer: sehr genaue kontinuierliche Messung des Magnetfeldes, teures Gerät, daher nur für Spezialuntersuchungen eingesetzt, Genauigkeit 0.01 nT.

Bearbeitung und Interpretation:

Die Gradientenmessungen bedürfen keiner weiteren Bearbeitung. Von den Messungen der Totalintensität müssen die Variationen des erdmagnetischen Außenfeldes und das Normalfeld abgezogen werden. Dafür wird zusätzlich eine Referenzstation benötigt. Die Daten werden mit mehrdimensionalen Modellen interpretiert, um die Geometrie und Lage des magnetisch wirksamen Materials im Untergrund abzuschätzen.



5.2.9 Gravimetrie

Prinzip:

Die Gravimetrie befasst sich mit der Schwerkraft der Erde. Gravimetrische Vermessungen nutzen die Veränderung des Schwerefeldes der Erde aufgrund der Dichteinhomogenitäten im Untergrund. Zur Erfassung von Dichteanomalien im Untergrund müssen von den beobachteten Schwerewerten orts- und zeitabhängige Referenzwerte, wie z.B. das Normalschwerefeld der Erde am Messpunkt, die Höhe des Messpunktes zum Bezugsniveau, die Gesteinschicht zwischen Bezugs- und Messniveau, abgezogen werden. Diese Korrekturen sind sehr sorgfältig durchzuführen, da sie sonst zu fehlerhaften Interpretationen führen.

Anwendungsmöglichkeiten:

- Nachweis von Hohlräumen
- Nachweis von Störungszonen
- Strukturerkennung des Untergrundes

Messgröße:

Messung der relativen Änderung der Schwere in Einheiten $1\text{mGal} = 10^3 \mu\text{Gal} = 10 \mu\text{ms}^{-2}$.

Messgeräte:

Als Messgerät kommen Gravimeter zum Einsatz. Alle Messgeräte enthalten statische Messsysteme, d.h. die Messung erfolgt im Ruhezustand einer schwingungsfähigen Feder-Masse-Anordnung.

Bearbeitung und Interpretation:

Nach Anwendung der Korrektur auf die gemessenen Schwerewerte erfolgt die Darstellung der Messwerte im Profil als Messkurve oder in Kartenform als Isolinienplan. Die Interpretationen der Messungen werden mit 2D und 3D Modellrechnungen durchgeführt, um die Dimensionen der Anomalie im Untergrund abzuleiten.

5.2.10 Seismik

Prinzip:

Die Seismik basiert auf der Messung von Laufzeiten seismischer Wellen, die sich im Untergrund mit einer materialabhängigen Geschwindigkeit ausbreiten. Eine an der Erdoberfläche, künstlich durch Hammerschlag, Fallgewicht, Vibratoren oder Sprengung erzeugte seismische Welle durchläuft den Untergrund und wird an Grenzflächen, an denen sich die Geschwindigkeit oder auch die Dichte ändert, gebeugt, gebrochen und reflektiert. Diese Wellen können dann an der Erdoberfläche mit auf Profilen ausgelegten Erschütterungsaufnehmern (Geophonen) registriert werden. Die Ausbreitung seismischer Wellen im Untergrund erfolgt nach den Gesetzen der geometrischen Optik.



Hammerschlag-Seismik

Anwendungsmöglichkeiten:

- Ortung von Hohlräumen, Stollen
- Erkundung des Untergrundes unter versiegelten Flächen
- Geologischer Aufbau, Störungserkundung
- Gesteins- / Bodenparameter (Porosität, Dichte, Felsklassenbestimmung)

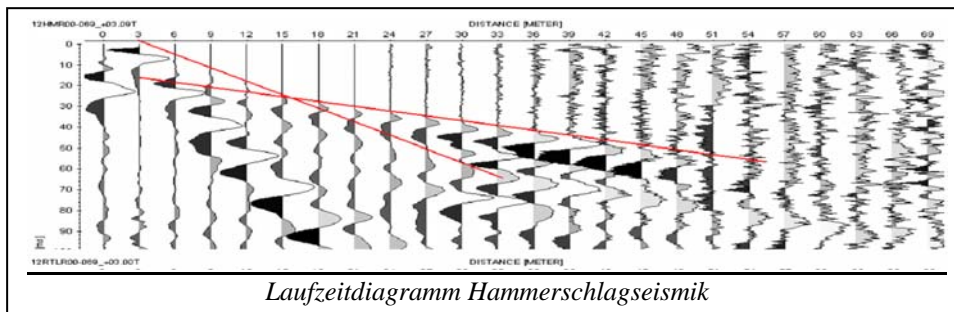
Messgröße: Laufzeiten und Amplituden seismischer Wellen

Messgeräte:

Die Datenbankakquisition wird maßgeblich durch den technologischen Stand der Messausrüstung bestimmt. Dazu gehören 24 und mehr Geophone pro Auslage, Anregung durch reproduzierbare Energiequellen und Sprengungen, digitale Aufzeichnung und Speicherung mit mindestens 12 Bit Auflösung, Möglichkeit der Stapelung.

Bearbeitung und Interpretation:

Die Laufzeiten und Amplituden der Wellen werden im sogenannten Seismogramm dargestellt. Daraus wird nach einer sorgfältigen Datenverarbeitung und einem Standard-Inversionsverfahren ein Laufzeitmodell des Untergrundes erstellt.



Laufzeitdiagramm Hammerschlagseismik

6 Literatur und Internetlinks

- altlastenforum Baden-Württemberg e.V. (Hrsg.)** (2006): Heft 11 Innovative Mess- und Überwachungsmethoden (Grundwassermonitoring), Stuttgart, ISBN 3-510-39011-3
- Barczewski B.**, Batereau K., Flachowsky J., Franzius V., Hempel M. (2003): „Vor-Ort-Analytik für die Erkundung von kontaminierten Standorten“, Erich Schmidt Verlag Berlin, 2003, ISBN 3 503 07450 3.
- Barczewski B.**, Batereau K., Flachowsky J., Hempel M., Klaas N. (2005): „Vor-Ort-Messtechniken zur Standorterkundung – Trends 2004“, Erich Schmidt Verlag Berlin, 2005, ISBN 3 503 08737 0.
- Barczewski B.**, Flachowsky J (2003): “Strategies and technologies for in-situ site assessment”, special session 19, In-Situ Measurements of Contaminants in the Subsurface – Methods and Field Applications, Tagungsband, “ConSoil 2003, 12 – 16 May 2003, Gent, Belgium.
- BBodSchV** Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12.07.1999; BGBl. I Nr. 36 vom 16.07.1999, S. 1554 ff.
- Bertges W.-D. et al.** (2008): Untersuchungsstrategien zur Unterstützung des Flächenrecyclings. TerraTech, 6/2008, S. 18-20.
- Blume H.-P. et al. (Hrsg.)** (2000): Loseblattsammlung Handbuch der Bodenuntersuchung, 9 Ordner, 32. Erg.-Lieferung Juni 2009, Beuth Verlag, Wiley-VCH, ISBN 978-3-410-14590-5
- Breh W. et al (Hrsg.)** (2002): Field Screening Europe 2001, 227-232, 2002 Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0739-6.
- Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)** (2002) – Altlastenausschuss (ALA) ad-hoc AG „Arbeitshilfen Qualitätssicherung“, 2002, <http://www.labo-deutschland.de>
- Crumbling D. M.** (2001). Current Perspectives in Site Remediation and Monitoring; Applying the Concept of Effective Data to Environmental Analyses for Contaminated Sites. EPA 542-R-01-013. August 2001. Issue paper available at http://clu-in.org/download/char/effective_data.pdf
- Crumbling D. M.** (2001). Current Perspectives in Site Remediation and Monitoring; Using the Triad Approach to Improve the Cost-effectiveness of Hazardous Waste Site Cleanups, EPA 542-R-01-016. October 2001. Issue paper available at <http://www.clu-in.org/download/char/triad2.pdf>
- Crumbling D. M.** (2002): In Search of Representativeness: Evolving the Environmental Data Quality Model. Quality Assurance, 9:179–190. Washington.
- Ecknig W.**, Obst, R. (1999): Screeningmethoden zur Untersuchung von Böden, Texte des Umweltbundesamtes (Hrsg.), UBA-FB 99-011, Forschungsbericht FB 297 74 001/09, ISSN 0722-186X.
- EURACHEM/CITAC Leitfaden** (2004): Ermittlung der Messunsicherheit bei analytischen Messungen, QUAM:2000.P1, 2. Auflage 2004
http://www.eurolab-d.bam.de/eurachem_dokumente/Ermittlung%20der%20Messunsicherheit%20bei%20analytischen%20Messungen..pdf
- Flachowsky J.** (1998): Mobile Umweltanalytik. In Günzler, H. et al (Hrsg.) Analytikertaschenbuch Bd. 18, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 143 – 179, ISBN 3-540-63611-0
- Flachowsky J.**, Huhn W., Renner K. (1999): Materialien zur Altlastenbehandlung „Vor-Ort-Analytik“, Landesamt für Umwelt und Geologie des Freistaates Sachsen (Hrsg.), Dresden.
- Flachowsky J.**, Rämmler A., Arthen-Engeland Th., Stach J. (1999): Mobile On-Site Analysis on Waste Sites, AT-Process, J. Process Analytical Chemistry, Winter 1998-1999, Vol IV, 3-4, pp. 152-161
- Flachowsky J.** (2005): Stand und Entwicklungstrends von Vor-Ort-Analytik, In: Barczewski, B., Batereau, K., Flachowsky, J., Franzius, V., Hempel, M., Klaas, N.

(Hrsg.): Vor-Ort-Messtechniken zur Standorterkundung – Trends 2004, Initiativen zum Umweltschutz. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, Berlin, 2005. - Nr.: 62 - ISBN: 3-503-08737-0.

Gottlieb J. et al (eds.) 1997: Field Screening Europe, 335-338, 1997 Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-4782-X.

Gerhold K.-M., Kremer, M., Matt, G., Schütz, J., 2002: Flächendeckende Untersuchung von Revitalisierungsflächen mit Hilfe fachübergreifender Vor-Ort-Analytik. TerraTech 2/2002

Knödel K., Krummel, H., Lange G., 1997: Umweltgeophysik, Handbuch zur Erkundung der Deponien und Altlasten, Springer Verlag.

LFU-BW-1996: Vergleichende Prüfung von Vor-Ort-Analytik-Geräten in Rastatt bei der MVG, Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 27/96, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.).

LFU-BW-1999: Vergleichende Prüfung von Vor-Ort-Analytik-Geräten in der Neckartal-aue in Stuttgart-Bad Cannstatt, Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 30/1999, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.).

LFU-BW-2001: Handlungsempfehlung zum Einsatz von Vor-Ort-Analytik“, Altlasten und Grundwasserschadensfälle 33, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), Karlsruhe, ISSN 1437-0156 (Bd. 33, 2001).

Maurer A.; Eitel, W., 1998: Schnelleluiverfahren 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.

Michels J., Stuhmann M., Frey C., Koschitzky H.-P. (Hrsg.) (2008): KORA-Handlungsempfehlungen mit Methodensammlung, Natürliche Schadstoffminderung bei der Sanierung von Altlasten. VEGAS, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, DECHEMA e.V., Frankfurt, ISBN 978-3-89746-092-0 <http://www.natural-attenuation.de>

Perk, M., 2006: Feld-Kalibrierung geophysikalischer Daten auf kontaminierten Flächen mit Hilfe des GIS-geschützten Visualisierungswerkzeugs GSI3D, Dissertation, Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln.

Rasemann, W. (Hrsg.) 2005: Handbuch Probenahme und Qualitätssicherung bei der Untersuchung von Stoffsystemen, Institut für Qualitätssicherung von Stoffsystemen Freiberg e.V., ISBN 3-86012-249-5

Richter, H., Lay, J.-P., Flachowsky, J. (2002): "Fast On-Site Analysis with Low Cost Methods" in: W. Breh et al (eds.): Field Screening Europe 2001, 227-232, 2002 Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0739-6.

Robbat, A., 1997: A Guideline for Dynamic Workplans and Field Analytics: The key to Cost-Effective Site Characterization and Cleanup.

<http://clu-in.org/download/char/dynwkpln.pdf>.

Schröder, W., Matz, G., 1995: Boden-GC/MS-Screening im Gelände, TerraTech 1995, 4, 32-36.

Schütz, J., 2004: Bedarf und Anforderungen an Vor-Ort-Analytik aus der Sicht eines Ingenieurbüros. Altlasten und Boden News, 1/2004, S. 20-22.

Schwedt, G., 1995: Mobile Umweltanalytik, Vogelverlag, Würzburg, 1995, ISBN 3-8023-1529-4

Telford, W.M., Geldart, L. P., Sheriff, R.E., 1990: Applied Geophysics, 2nd edition, Cambridge University Press

Tertyze, K. et al., 2004: Stellungnahme des FBU zum Einsatz von Verfahren der Vor-Ort-Analytik im Anwendungsbereich der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Fachbeirat Bodenuntersuchungen. Berlin.

US EPA; 1993: Use of airborne surface and borehole geophysical techniques at contaminated sites: a reference guide, US EPA office of Science Planning and Regulatory Evaluation Center for Environmental Research Information.

US EPA 1997: The Site Characterization and Analysis Penetrometer System (SCAPS) Laser-Induced Fluorescence (LIF) Sensor and Support System, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington DC 20460, EPA/600/R-97/019, February 1997.

US EPA 1997: The Rapid Optical Screening Tool (ROST™) Laser-Induced Fluorescence (LIF) System for Screening of Petroleum Hydrocarbons in Subsurface Soils, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington DC 20460, EPA/600/R-97/020, February 1997.

US EPA 2007: Field Analytic Technologies <http://clu-in.org/char/technologies/>

VDI 3865 Blatt 1 (Juni 2005): Messen organischer Bodenverunreinigungen; Messen leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe. Messplanung für Bodenluft-Untersuchungsverfahren

VDI 3865 Blatt 2 (Januar 1998): Messen organischer Bodenverunreinigungen; Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben

VDI 3865 Blatt 3 (Juni 1998): Messen organischer Bodenverunreinigungen; Gaschromatographische Bestimmung von niedrig siedenden organischen Verbindungen in Bodenluft nach Anreicherung an Aktivkohle oder XAD-4 und Desorption mit organischem Lösungsmittel

VDI 3865 Blatt 4 (Dezember 2000): Messen organischer Bodenverunreinigungen; Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft durch Direktmessung

Vogelsang, D., Schirmer, W., 1990: Leitlinien zur Geophysik an Altlasten, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Vogelsang, D., 1993. Geophysik an Altlasten, Springer-Verlag, 2. Auflage

Ward, S.H., 1990: Geotechnical and Environmental Geophysics: Environmental and Groundwater, V. II, Soc. Explor. Geophys., Tulsa.

Internetlinks (ohne Gewähr und Anspruch auf Vollständigkeit)

Strategien, Methodenauswahl

Allgemein

www.eurodemo.info
www.norisc.com
www.promote-etv.org
www.triadcentral.org

Anbieterqualifikation

www.triadcentral.org/ref/ref/documents/ContractorCap.pdf

Datenmanagement

www.triadcentral.org/ref/ref/documents/epa542f07001.pdf

Methodenauswahl

<http://clu-in.org/char/technologies/default.cfm>
www.triadcentral.org/ref/ref/documents/roadmap3rded.pdf
www.triadcentral.org/ref/ref/documents/whtpaper.pdf

Hinweise für Investoren, Banken und deren Gutachter

www.triadcentral.org/ref/ref/documents/ImprovingSIFinalBrochure.pdf

Flächenverbrauch

www.allianz-fuer-die-flaeche.de/Veranstaltungen-und-Workshops-2.html
www.refina-info.de
www.refina-info.de/de/projekte/index.phtml

Qualitätssicherung

www.clu-in.org/products/dataquality/
www.eurolab-d.bam.de/eurachem_dokumente/Ermittlung%20der%20Messunsicherheit%20bei%20analytischen%20Messungen.pdf
www.triadcentral.org/ref/ref/documents/soilsamp.pdf

Software zur Methodenauswahl und Datenvisualisierung vor Ort

www.envisoft.eu
www.norisc.info/download/NORISC_DSS.zip

Lieferanten Gerätetechnik, Zubehör, Verbrauchsmaterial, Chemikalien

Allgemein

www.analytica-world.com
www.chemie.de
www.envirotech-online.com
www.labo.de
www.laborpraxis.de
www.speciation.net

Mietgeräte Vor-Ort-Analytik

www.geoteconline.de/mietpark.htm#3
www.honold-umwelt.de/index.html
www.meta-dresden.de/html/mess- und steuersysteme.html

Laborbedarf und Chemikalien

www.accustandard.com
www.carlroth.de
www.dexsil.com
www.merck-chemicals.com
www.merck.de
www.neolab.de
www.omnilab.de
www.sigma-aldrich.com
<http://vwr.com>

Laborgeräte und Zubehör

www.amchro.com
www.eppendorf.com
www.heidolph.de
www.ika.net
www.isomatec.com
www.knf.de
www.mn-net.com
www.nordantec.de/produkte.php
www.rct-online.de
www.schottinstruments.com
www.thgeyer.de
www.vitlab.de
www.windaus.de

Schnelltests Wasseruntersuchung

www.dexsil.com
www.hach-lange.de
www.merck.de
www.mn-net.com
www.s-can.at
www.tintometer.com
www.windaus.de
www.wtw.com

Probenahme und Zubehör

www.buerkle.de
www.wtw.com

Voltammetrie

www.gatgmbh.com

www.nordantec.de/tea-4000.php

www.radiometer-analytical.com

www.sdix.com/PDF/Products/MTI6000%20Profile%20Jul07.pdf

IR-Messtechnik

www.ansyco.de

www.brukeroptics.com

www.siegrist.de/siegrist-themen/umweltschutz.html

www.smithsdetection.com

Gas-Probenahme und Probenahmeführer

www.analyt-mtc.de

Gas-Sensorik

www.ansyco.de

www.brukeroptics.de

www.draeger.com

www.gasmessung.de

www.gasmesstechnik.de

www.gasmet.fi

www.gasmonitors.com

www.geotech.co.uk

www.honold-umwelt.de/index.html

www.meta-dresden.de

www.msa-auer.de

www.msa-gasdetection.com

www.pas-tech.de

www.raesystems.de

www.sarstedt.com

GC- und GC/MS-Zubehör

www.agilent.com/chem/supplies

www.alltechweb.de

www.ansyco.de/CMS/frontend/index.php?idcatside=92

www.axelsemrau.de

www.bdal.com/cbrn

www.cs-chromatographie.de

www.hamiltoncompany.com

www.inficon.com

www.meta-dresden.de/html/gaschromatograph.html

www.mn-net.com

www.phenomex.com

www.sge.com

www.sigma-aldrich.com/supelco

www.siegrist.de/produktuebersicht

www.sls-micro-technology.de/

www.thermo.com/columns

www.varianinc.com

www.vici.com

Röntgenfluoreszenz

www.analyticon-instruments.de
www.servantech.de/
www.thermo.com/niton
www.bruker-axs.de
www.oxford-instruments.com
www.innovx.com
www.spectro.com

Drucksondierung (Direct push)

www.geoprobe.com
www.fugro.de
www.geo-log.com/
www.triadcentral.org/ref/ref/documents/542r03007.pdf

Biolumineszenzverfahren

www.hach-lange.de
http://lims.uni-uisburg.de/Lehre/Material/WasserAnaPrak/Wasseranalytik/instruments_archivos/Lumistox300_luminometer_complete_manual.pdf
<http://pdf.directindustry.de/pdf/hach-lange/hach-lange-katalog-2006-2007/5842-4262-133.html>
www.mn-net.com/
www.mn-net.com/StartpageWaterAnalysisTesting/Microbiologicaltests/BioFixLuminometerLumi10/tabid/500/language/de-DE/Default.aspx
<http://crownbio.co.uk/>
www.roxby-media.com/innovationuk/138.php

Geophysikalische Verfahren / Anbieter

www.geoberuf.de/index.php?option=com_content&view=category&id=100&Itemid=77