

# 02.20

Lizenziert für Herrn Christian A. Gillbricht.  
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

29. Jahrgang  
April 2020  
Seiten 45–88

# altlasten spektrum

Herausgegeben vom  
Ingenieurtechnischen Verband für Altlastenmanagement  
und Flächenrecycling e.V. (ITVA)

[www.ALTLASTENDigital.de](http://www.ALTLASTENDigital.de)



Organ des ITVA

## Grundwasser-Management- plan – Vielseitiges Instru- ment zur Verbesserung der Grundwasserqualität

S. Vasin, H. J. Kirchholtes

## Möglichkeiten und Grenzen der Vor-Ort-Analytik – Eine kritische Betrachtung

Ch. A. Gillbricht

## Boden- und Grundwasser- sanierung unter Verwendung von aktiviertem Persulfat

P. Block, B. Smith, M. Mueller

## Kampfmittelräumung in in- nerörtlicher Bebauungslage

V. Schnibben, J. Wöbse, L. Zipprich



**ESV** ERICH  
SCHMIDT  
VERLAG



# Möglichkeiten und Grenzen der Vor-Ort-Analytik

Eine kritische Betrachtung anhand von Beispielen

Christian A. Gillbricht

## Zusammenfassung

Seit Beginn der Altlastenbearbeitung sind Verfahren der Vor-Ort-Analytik für die Erkundung und Sanierungsbegleitung entwickelt und angewendet worden. Insgesamt ist diese Anwendung aber gering geblieben, insbesondere im Vergleich zum umfangreichen Fachschrifttum zu diesem Thema. In diesem Beitrag wird anhand von Beispielen diskutiert, woher diese Zurückhaltung der Praktiker rührt und inwieweit sie auf guten Gründen beruht.

## 1. Einführung

Schon im Beginn der Altlastenbearbeitung Anfang der 1980er-Jahre bestand ein Bedarf für schnelle und kostengünstige Verfahren zur orientierenden chemischen Untersuchung vom Boden, Wasser und Bodenluft auf Schadstoffe. Für die Abgrenzung von sanierungsrelevanten Bodenbereichen bzw. Schadstoffzonen im Grundwasser war eine genaue analytische Bestimmung nicht erforderlich. Es ging vielmehr um die Identifizierung und Abgrenzung hoch belasteter Bereiche, der sogenannten Hot spots. In diesem Zusammenhang ist daran zu erinnern, dass beispielsweise gaschromatographische Untersuchungen auf leicht flüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW), und zwar meist nur wenige Einzelsubstanzen in Anlehnung an die Trinkwasserverordnung, ca. 90 Euro kosten und die Ergebnisse typischerweise erst nach mehr als einer Woche vorlagen.

Im Verlauf der 1990er-Jahre wurde eine Vielzahl von Vor-Ort-Messverfahren vorgeschlagen. Diese wurden aber nur zum geringen Teil bis zur Praxistauglichkeit bzw. zu kommerziell verfügbaren Produkten weiterentwickelt. Sie erreichten naturgemäß nicht die Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit normierter analytischer Labormethoden. Gleichzeitig verfielen die Preise der Laboranalytik, z. B. für die LCKW teilweise auf unter 10 Euro je Probe. In der BBodSchV (1999) [1] wurden Laborverfahren verbindlich festgelegt. Für Vor-Ort-Verfahren wurde im Anhang 1 dagegen eher unbestimmt formuliert: „Für die Festlegung von Probennahmestellen können auch Ergebnisse aus einer geeigneten Vor-Ort-Analytik herangezogen werden.“

Trotzdem kam es Ende der 1990er-Jahre, insbesondere im Zusammenhang mit dem verstärkten Einsatz der Direct-Push-Methoden zur Probenahme von Boden und Wasser, zu einer weiteren Phase der Methodenentwicklung. In dieser Zeit wurde auch eine Zeitschrift speziell für die Vor-Ort-Analytik veröffentlicht (Field analytical chemistry and technology, ISSN 1086-900X), die aber nach wenigen Jahren (1996–2001) das Erscheinen einstellte. Zur selben Zeit gab es als Sonderfall eine intensive Publikationstätigkeit zur Vor-Ort-Analytik von Trinkwasser auf Arsen im süd- und südostasiatischen Raum, die teilweise bis in jüngste Zeit anhält. Auf eine weitergehende Auswertung des umfangreichen Fachschrifttums wird in diesem Beitrag verzichtet.

Eine (nicht repräsentative) Umfrage bei einschlägigen Institutionen (Fachbehörden, Ingenieurbüros) in der Metropolregion Hamburg hat gezeigt, dass trotz der vielen veröffentlichten bzw. kommerziell verfügbaren Vor-Ort-Verfahren der Analytik diese insgesamt nur selten zum Einsatz kommen. Auch in einer aktuellen Übersichtsdarstellung aus Baden-Württemberg über „Adaptive Erkundungskonzepte und -methoden“ [3] werden die Methoden der Vor-Ort-Analytik nur kurz und in einem Beispiel mit sehr geringer Datenanzahl dargestellt.

Es soll daher im Folgenden allgemein und anhand von Beispielen diskutiert werden, warum der Einsatz von Verfahren der Vor-Ort-Analytik in der Praxis eher zurückhaltend ist und in welchen Fällen er sinnvoll sein kann.

## 2. Abgrenzung des Themas

Unter Vor-Ort-Analytik kann man alle Verfahren einer chemischen oder chemisch-physikalischen Untersuchung verstehen, bei der eine quantitative oder halbquantitative Bestimmung von Untersuchungsparametern erfolgt, ohne das Probengut in ein Labor zu transportieren. Es gibt also viele technische Möglichkeiten, angefangen von einfachen Sensor-Messungen, z. B. die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit von Wasser mittels Elektrode, bis hin zu aufwändigen chemischen Bestimmungen einschließlich der erforderlichen Pro-



## Möglichkeiten und Grenzen der Vor-Ort-Analytik

benvorbereitung in einem Laborfahrzeug bzw. einem vor Ort eingerichteten Baulabor. In diesem Beitrag beschränke ich mich auf einfache Verfahren, die unmittelbar am Arbeitsort und ohne größere Probenvorbereitung durchgeführt werden. Es handelt sich also um „kleine“ Analytik, die zumindest teilweise von angelerntem Personal durchgeführt werden kann und innerhalb von Minuten Ergebnisse liefert.

### 3. Warum wird die Vor-Ort-Analytik nur selten angewendet?

Alle Bestimmungen von Stoffkonzentrationen unterliegen im Rahmen von Bodenschutz-, Wasser- und Abfallrecht verbindlichen Festlegungen der Bestimmungsverfahren. Die Vor-Ort-Analytik ist der damit geforderten Laboranalytik nicht gleichwertig. Wenn alle Proben auch der Laboranalytik zugeführt werden und kein unmittelbarer Handlungsbedarf gegeben ist (Abschnitt 4), so ist eine Vor-Ort-Analytik überflüssig. Die Vor-Ort-Analytik kann zur flexiblen Gestaltung eines Probenahmerasters oder zur Veränderung der Definition des Untersuchungsraums (Abgrenzung einer Verunreinigung) eingesetzt werden. Dies setzt jedoch voraus, dass eine Anpassung der Probenahmeorte, z.B. Bohrungsansatzpunkte, kurzfristig möglich ist. In vielen Fällen ist dies aus rechtlichen und organisatorischen Gründen jedoch ausgeschlossen, z.B. durch die Eigentumsverhältnisse oder durch eine fehlende Kampfmittelfreigabe außerhalb des ursprünglich vorgesehenen Erkundungsbereichs.

Nicht zuletzt bestehen Vorbehalte gegen Verfahren der Vor-Ort-Analytik, da sowohl Gutachter als auch ausführende Unternehmen in vielen Fällen nicht über die nötigen Kenntnisse und Erfahrungen im Umgang mit chemischer Analytik verfügen. In der Altlastenerkundung und -sanierung herrscht traditionell eine Kultur der „Grobmotorik“ vor.

### 4. Wo und für welche Aufgabenstellungen ist die Vor-Ort-Analytik sinnvoll anzuwenden?

Die Vor-Ort-Analysen können wichtige *Vorinformationen für die Laboranalytik* liefern. Manche Analysengänge sind nur innerhalb eines begrenzten Konzentrationsbereichs kalibriert. Die Vor-Ort-Analytik gibt damit Hinweise auf eine ggf. erforderliche Verdünnung der Proben vor der analytischen Messung. Daneben sind Angaben zu ggf. erforderlichen Maßnahmen zum Arbeitsschutz möglich.

Durch die *Festlegung von Probenahmeorten* [1] kann mit Hilfe einer Vor-Ort-Analytik eine Untersuchung in einem Untersuchungsschritt durchgeführt werden, die sonst in mehreren Schritten mit Unterbrechungen bis zum Vorliegen von Laborergebnissen erfolgen würde. Stillstandszeiten bzw. neue Baustelleneinrichtungen werden damit vermieden.

Bei der *Auswahl von Einzelproben* für die Laboranalytik können orientierende Untersuchungen sowohl im Feld als auch im Labor eingesetzt werden. Derartige Bestimmungen vor Ort sind sinnvoll, wenn sie wesentlich kos-

tengünstiger sind als entsprechende Vortests im Labor oder wenn für bestimmte Untersuchungen ein Probenversand in räumlich entfernte Speziallabors, ggf. mit aufwändigen Kühltransporten, vorgesehen ist.

Bei der *Herstellung von Mischproben* für die Laboranalytik wird in vielen Fällen eine Vereinigung von Einzelproben nach organoleptischer Ansprache, also nach Augenschein, vorgenommen. Dabei kann es bei organoleptisch nicht wahrnehmbaren Verunreinigungen zu Vermischungen unterschiedlich belasteter Materialien kommen. Durch Vor-Ort-Analytik an den Einzelproben (oder entsprechende Vortests im Labor) kann dies vermieden werden. Die Vor-Ort-Analytik hat hier den Vorteil, dass die räumliche Abgrenzung unterschiedlich belasteter Bodenpartien unmittelbar erfolgt und ggf. auch im Gelände markiert werden kann. Außerdem führt die Herstellung der Mischproben vor Ort zu einer Reduktion der Masse und Anzahl der Proben und damit zu einer vereinfachten Bearbeitung durch das Labor.

Nicht zuletzt gehören Konzentrationsmessungen mit unmittelbar verfügbaren Ergebnissen zu den Notwendigkeiten des *Arbeitsschutzes* auf Baustellen. Dies gilt insbesondere für flüchtige Schadstoffe.

### 5. Beispiel 1: Vor-Ort-Bestimmung von Chlorenchlorenen in Wasserproben (DLE-Gerät)

Ein relativ häufig eingesetztes Verfahren der Vor-Ort-Analytik stellt die Bestimmung von Chlorenchlorenen in Wasserproben mit dem DLE-Gerät der Firma Dräger dar [3]. Bei diesem Verfahren werden die leicht flüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffe (LCKW) in einer Waschflasche aus dem Wasser in die Gasphase überführt und mit einem Prüfröhrchen für gasförmige Stoffe nachgewiesen. Üblicherweise wird das Prüfröhrchen Perchlorthylen 2/a der Firma Dräger verwendet. In diesem Röhrchen werden die Chlorenchlorenen in einer Reaktionsschicht mit Kaliumpermanganat oxidiert. Das dabei entstehende freie Chlor wird in einer Anzeigeschicht durch eine Farbreaktion mit Diphenylbenzidin quantitativ nachgewiesen. Der Messbereich reicht von ca. 100 bis 4.000 µg/l. Für höhere Konzentrationen ist eine Bestimmung nach entsprechender Verdünnung möglich. Das Gerät kostet ca. 800 Euro, die Verbrauchsmaterialien ca. 5 Euro pro Probe. Der Zeitbedarf je Probe beträgt (ohne Verdünnung) rund 20 Minuten.

Das Verfahren ist für Tetrachlorenchlorenen (PCE, Perchlorthylen, Per) kalibriert. Es zeigt aber alle Chlorenchlorenen (Trichlorenchlorenen, Dichlorenchlorenen, Chlorenchlorenen = Vinylchlorid, VC) mit unterschiedlicher Empfindlichkeit an. In der Herstellerangabe wird pauschal eine Quersensitivität für „andere Chlorenchlorenen“ angegeben. Gesättigte LCKW reagieren aber nicht mit dem Permanganat und werden daher nicht angezeigt. Für die semiquantitative Bestimmung der verschiedenen Chlorenchlorenen sind folgende Prozesse zu bedenken;

- Übergang der Stoffe aus der Wasser- in die Gasphase

- Effizienz der Oxidation der einzelnen Spezies mit Permanganat
- Chlorgehalt der Moleküle

Im Vergleich von Bestimmungen mit dem DLE-Gerät und Laboruntersuchungen zeigt sich, dass durch die intensive Belüftung in der Waschflasche der Übergang von der Wasser- in die Gasphase praktisch vollständig erfolgt und eine Gleichgewichtseinstellung über den Verteilungskoeffizienten (Henry-Konstante) nicht berücksichtigt werden muss. Die Oxidation erfolgt ebenfalls praktisch vollständig. Im Rahmen der Gesamtgenauigkeit des Verfahrens ist also nur der unterschiedliche Chlorgehalt der Moleküle zu berücksichtigen (Tabelle 1). Die Unterschiede für die einzelnen Chlor-

Tabelle 1: Umrechnung für Chlorethene aus Messungen mit dem DLE-Gerät und Prüfröhrchen Dräger Perchlorethylen 2/a

Stoff	Summenformel	Molgewicht	C1-Gehalt rel. zu PCE	Umrechnungsfaktor der Konzentration	Bestimmungsgrenze [ug/l]
PCE	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	166,0	1,00	1,00	80
TCE	HC <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub>	131,5	0,75	1,06	84
DCE	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	97,0	0,50	1,17	93
VC	H <sub>3</sub> C <sub>2</sub> Cl	62,5	0,25	1,51	120

ethen-Spezies sind insgesamt gering und die mit dem DLE-Gerät und dem Prüfröhrchen Perchlorethylen 2/a ermittelten Konzentrationsangaben können danach unmittelbar als Summe der Chlorethene unabhängig von den vorliegenden Spezies bzw. der Kenntnis über die Speziesverteilung für praktische Entscheidungen verwendet werden.

Als Beispieldaten werden hier rund 100 Messungen aus mehreren Projekten verwendet. Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden hierbei nicht berücksichtigt. Die Durchführung lag bei unterschiedlichen Unternehmen bzw. Personen. Der Einsatz der Vor-Ort-Analytik erfolgte meistens zum Zweck der Festlegung weiterer Sondierungsansatzpunkte im Rahmen von Direct-Push-Kampagnen. In einem Projekt wurden die Filterstrecken von Rammfilterbrunnen in Direct-Push-Sondierungen auf Grund der Untersuchungsergebnisse festgelegt, sodass der Ausbau unmittelbar nach der letzten Probenahme aus einer Sondierung durchgeführt werden konnte, während die laborseitige Analytik erst am folgenden Tag erfolgte. Die Ergebnisse der Bestimmungen mit dem DLE-Gerät stimmen weitgehend mit der Laboranalytik überein. Die meisten Proben liegen in einem Bereich mit einem relativen Fehler von maximal Faktor 2 (Abbildung 1a). In der Darstellung sind die einzelnen Proben nach der jeweils vorherrschenden chemischen Spezies mit unterschiedlichen Symbolen dargestellt. Auffällig sind die beiden hoch mit Chlorethen (VC) belasteten Proben. Eine Korrektur nach dem jeweiligen Chlorgehalt entsprechend Tabelle 1 (Abbildung 1b) ergibt für diese Proben eine etwas bessere Übereinstimmung von DLE-

## Möglichkeiten und Grenzen der Vor-Ort-Analytik

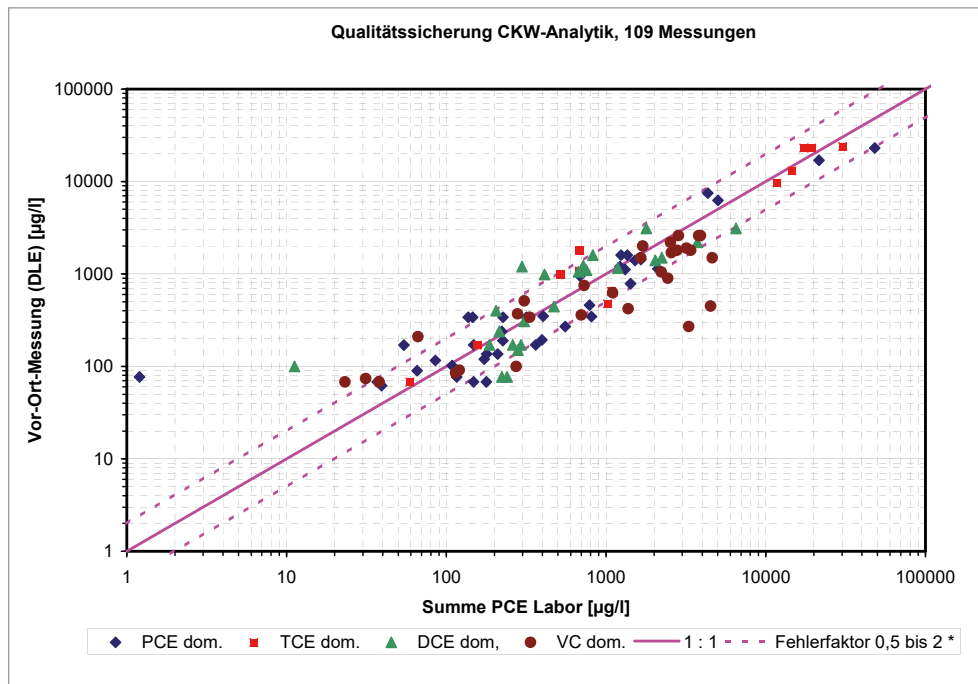


Abbildung 1a: Ergebnisse von orientierenden Bestimmungen von Chlorethenen mit dem DLE-Gerät im Vergleich zu den Ergebnissen der Laboranalytik

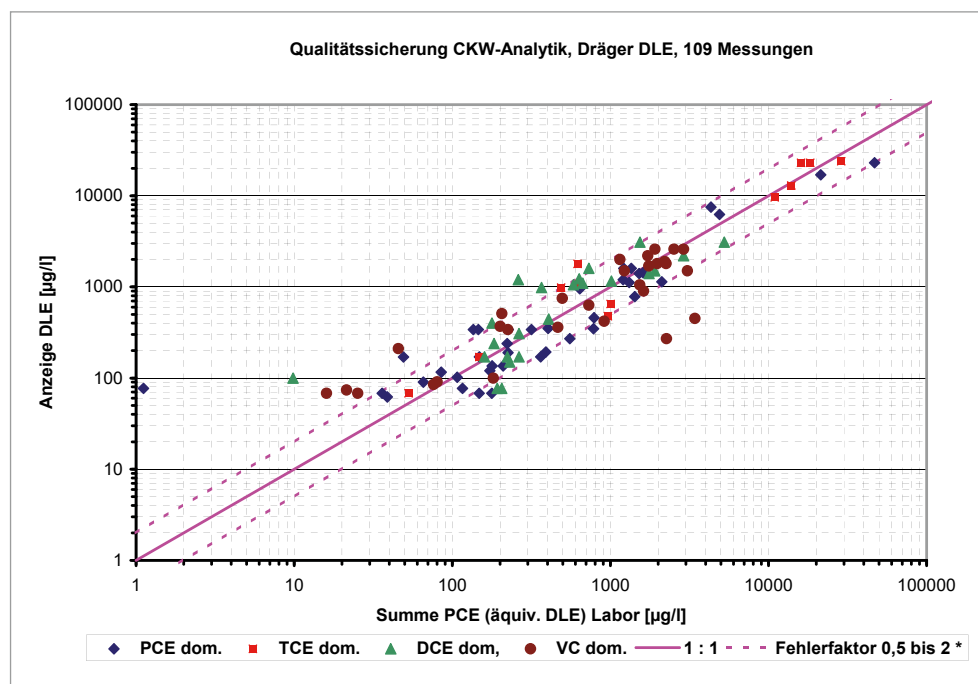


Abbildung 1b: Ergebnisse von orientierenden Bestimmungen von Chlorethenen mit dem DLE-Gerät im Vergleich zu den Ergebnissen der Laboranalytik, korrigiert auf die unterschiedlichen Chlorgehalte der verschiedenen Spezies

und Laboranalytik. Insgesamt zeigt sich jedoch, dass für praktische Belange diese Korrektur nicht erforderlich ist.

### 6. Beispiel 2: Bestimmung von Metallen in Bodenproben (tRFA)

Ein gelegentlich eingesetztes Verfahren der Vor-Ort-Analytik an Bodenproben stellt die Bestimmung von Metallen mit tragbaren Röntgenfluoreszenzanalysegeräten (tRFA, englisch: portable X-ray fluorescence pXRF) dar. Bei diesem Verfahren werden die Atome durch eine Röntgenstrahlung zur Fluoreszenz angeregt. Diese wird quantitativ ausgewertet. Es können übli-

cherweise die Elemente von Magnesium bis Uran bestimmt werden, wobei die tatsächliche Anzeige der Geräte vom herstellerseitig gelieferten Auswertungsprogramm abhängt. Als Quelle der Strahlung verwenden ältere Geräte ein radioaktives Präparat, meist Americium. Heute marktgängige Geräte basieren auf einer miniaturisierten Röntgenröhre. Unabhängig von der Art der Strahlungsquelle unterliegen die Geräte der Strahlenschutzverordnung und dürfen nur von entsprechend qualifizierten und zertifizierten Personen eingesetzt werden. Die Geräte kosten ca. 30.000 Euro, der Einsatz durch ein entsprechendes Fachunternehmen liegt bei 600 bis 1.000 Euro pro Tag. Der Zeitbe-



Abbildung 2: Direktmessung des Bleigehalts an Bodenproben an einer Rammkernschuppe mit dem tRFA

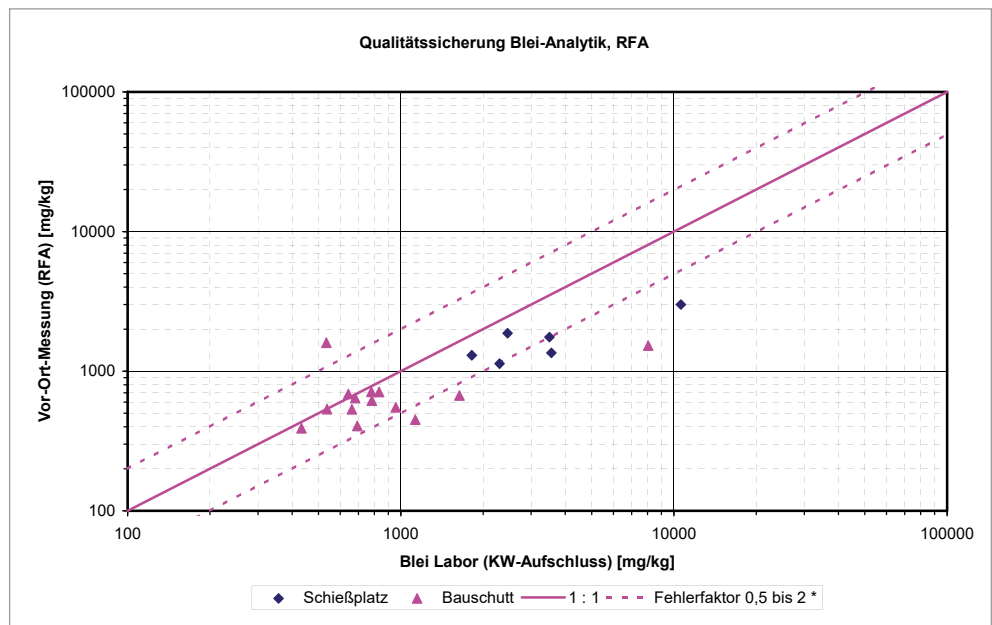
darf je Messung beträgt unter 60 Sekunden (ohne Herstellung definierter Prüfkörper).

Für orientierende Untersuchungen können die Geräte unmittelbar auf das Probengut, z.B. Boden in einer Sondierschuppe, gehalten werden (Abbildung 2). Sollen mit dieser Technik Messungen mit annähernd der Qualität von Laboranalysen (Königswasseraufschluss in Verbindung mit z. B. induktiv gekoppeltem Plasma und Massenspektrometrie ICP/MS) gemacht werden, ist die Herstellung definierter Prüfkörper für die Messung sowie eine Kalibrierung auf die Matrix (Bodentyp) und den Wassergehalt erforderlich. In der Praxis werden Geräte mit werksseitiger Kalibrierung auf der Grundlage von zertifizierten Referenzmaterialien (Standardböden) verwendet.

Es liegen Beispieldaten aus zwei Projekten vor (Abbildung 3). Die Zahl der Proben ist relativ gering, da auf Grund der tRFA-Messungen jeweils nur wenige Einzelproben für die Laboranalytik ausgewählt wurden.

Bei dem Projekt „Schießplatz“ handelt es sich um eine Tontaubenschießanlage aus den 1920er-Jahren. Die Angaben der historischen Recherche waren nicht aussagekräftig. Es wurde von einer Nutzung allenfalls über wenige Jahre ausgegangen. Unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Verhältnisse (Inflationszeit) wurde eine geringe Nutzungsintensität für möglich gehalten. In einem ersten Untersuchungsschritt wurden daher flächendeckend in einem regelmäßigen Raster auf 10 Teilflächen von je ca. 1 ha Größe insgesamt 200 Bohrstocksondierungen durchgeführt und die Proben organoleptisch begutachtet. Vom Oberboden (0,0–0,1 m) wurden aus den 20 Einstichen je Teilfläche Mischproben hergestellt. Keine der Proben wies organoleptische Auffälligkeiten außer Beimengungen von Bauschutt auf, insbesondere waren keine Schrotkugeln oder ihre Verwitterungsprodukte zu erkennen. Die chemische Untersuchung ergab aber für fünf Teilflächen in den Mischproben Konzentrationen von Blei über 500 mg/kg und Antimon über 50 mg/kg. Es wurde daher ein zweiter Untersuchungsschritt unter Einsatz einer tRFA zur Abgrenzung des kontaminierten Bereichs durchgeführt. Hierzu wurden auf den fünf betroffenen Teilflächen an insgesamt 111 Untersuchungspunkten entsprechend dem Sondiergitter und an zusätzlichen Verdichtungspunkten Aufgrabungen bis 0,1 m durchgeführt. In jeder Aufgrabung wurden zwei Messungen auf dem geglätteten Boden ohne weitere Probenvorbereitung mit einer tRFA mit einem radioaktiven Präparat als Strahlungsquelle (Fabrikat Niton) mit einer unteren Bestimmungsgrenze für Blei von ca. 100 mg/kg vorgenommen. Bei stark unterschiedlichen Messwerten wurden weitere Messungen durchgeführt und gewichtete Mittel gebildet. Die Messungen erfolgten durch ein Fachunternehmen für Bodenuntersuchungen und erforderten 3 Arbeitstage. Mit dieser Vorgehensweise war eine un-

Abbildung 3: Ergebnisse von orientierenden Bestimmungen von Blei im Boden mit tRFA im Vergleich zu den Ergebnissen der Laboranalytik





## Möglichkeiten und Grenzen der Vor-Ort-Analytik

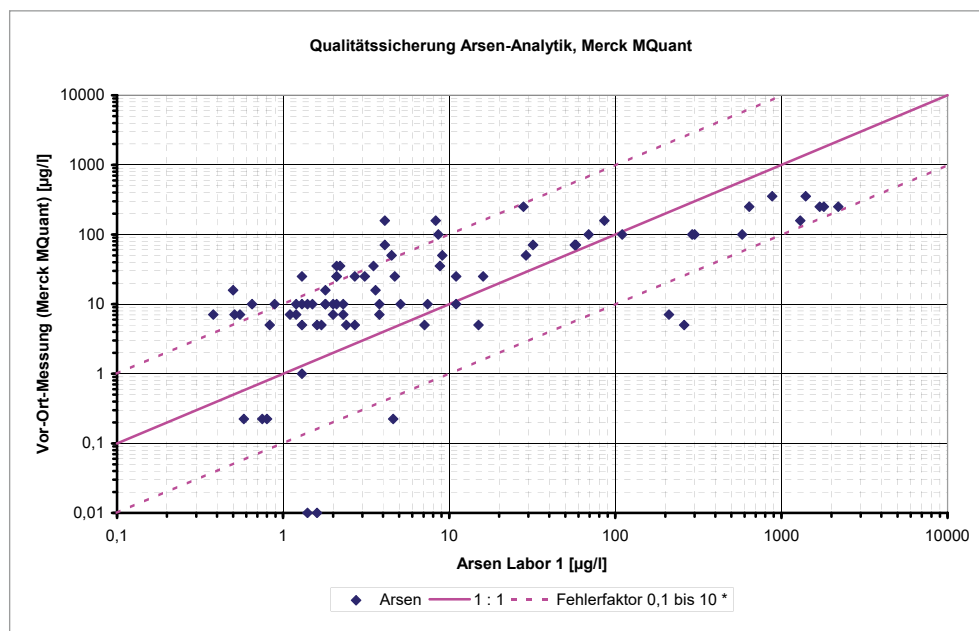


Abbildung 4: Ergebnisse von orientierenden Bestimmungen von Arsen im Wasser mit Merck MQuant (1.17927.0001) im Vergleich zu den Ergebnissen der Laboranalytik

mittelbare Abgrenzung der hoch belasteten Bereiche möglich. Außerdem wurden auf der Grundlage der Messungen ausgewählte Bodenproben entnommen und im Labor sowohl im Königswasseraufschluss als auch im wässrigen Eluat untersucht.

Bei dem Projekt „Bauschutt“ handelt es sich um eine Geländeaufhöhung mit Trümmerschutt des Zweiten Weltkriegs. Es wurde eine tRFA mit einer miniaturisierten Röntgenröhre (Fabrikat Niton) für Messungen an frischem Bohrgut aus insgesamt 10 Rammkernsondierungen bis maximal 5 m Tiefe ohne Probenvorbereitung (Abbildung 2) eingesetzt. Die Messungen erfolgten in Abhängigkeit von den Bodenarten in Tiefenabständen von wenigen Dezimetern. Die Messungen wurden durch ein Unternehmen für Warenkontrolle ausgeführt. Das Gerät war nicht auf Boden, sondern auf Kunststoffe als Matrix kalibriert. Es wurde daher in einem Vorversuch an Material vom Standort mit bekanntem Bleigehalt (im Königswasseraufschluss) Vergleichsmessungen durchgeführt. Diese zeigten gute Übereinstimmung, sodass das Gerät für den Anwendungsfall ohne neue Kalibrierung geeignet war. Die Messwerte wurden verwendet, um kurzfristig weitere Sondierungsansatzpunkte festzulegen sowie Einzelproben für Laboruntersuchungen auszuwählen.

Der Vergleich von tRFA-Messungen und Laborergebnissen (Abbildung 3) zeigt für beide Untersuchungsobjekte eine gute Übereinstimmung. Die tendenzielle Unterschätzung der Blei-Konzentrationen durch die tRFA ist auf Matrixeffekte, insbesondere die Bodenfeuchte, zurückzuführen. Eine Verbesserung der Messergebnisse wäre nur durch eine Probenvorbereitung mit Herstellung definierter Prüfkörper zu erreichen.

### 7. Beispiel 3: Nasschemische Schnelltests

Für die Bestimmung von Lösungsbestandteilen im Wasser gibt es eine Vielzahl von nasschemischen Ver-

fahren. Es handelt sich dabei überwiegend um Farbreaktionen in der wässrigen Phase oder auf festen Phasen (z.B. Nachweispapiere). Konzentrationen werden semiquantitativ durch Vergleich mit einer Farbskala im Auflicht, im Durchlicht (Küvetten-Verfahren) oder quantitativ im Durchlicht mit einem tragbaren Photometer bestimmt. Im Bereich des Trink- und Abwassers haben diese Verfahren große Verbreitung, in der Altlastenbearbeitung werden sie dagegen nur in Ausnahmefällen angewendet.

Als Beispieldaten wird hier die Bestimmung von Arsen mit dem Arsen-Test des Fabrikats Merck MQuant (Produktnummer 1.17927.0001) im Vergleich zur Laboranalytik gezeigt (Abbildung 4). Bei diesem System werden den Wasserproben drei Reagenzien zugesetzt. Das Arsen wird in gasförmiges Arsin (Arsenwasserstoff) umgewandelt. Dieses führt auf einem Teststäbchen durch Reaktion mit Quecksilberbromid zu einer Verfärbung, aus deren Farbton anhand einer Vergleichsskala semiquantitativ die Konzentration im Wasser abgeschätzt wird. Die Farbskala deckt einen Bereich von 5 bis 500 µg/l ab. Niedrigere Konzentrationen werden durch Extrapolation geschätzt, höhere nach Verdünnung bestimmt. Die Messung benötigt ca. 30 Minuten. Die Materialkosten liegen bei ca. 1,50 Euro je Probe. Die Wasserproben stammten aus Direct-Push-Sondierungen und wurden nicht filtriert. Die Vor-Ort-Analytik wurde eingesetzt, da ausgewählte Teilproben zur Bestimmung der Arsen-Spezies (Arsen V, Arsen III) zu einem räumlich entfernten Labor versandt wurden, während die konventionellen Bestimmungen der Arsen(gesamt)-Konzentrationen von allen Proben in einem örtlichen Labor erfolgten. Die Vor-Ort-Analysen wurden durch zwei Sondierungsunternehmen durchgeführt. Die Mitarbeiter dieser Unternehmen hatten erstmals mit dem Verfahren zu tun.

Die Bestimmungen mit der Vor-Ort-Analytik stimmen überwiegend innerhalb einer Zehnerpotenz mit den Ergebnissen der Laboranalytik überein (Abbildung 4). Es gibt aber auch einzelne Abweichungen von mehr als einer Zehnerpotenz, für die keine Erklärung gegeben werden kann. Tendenziell werden niedrige Konzentrationen (unter 100 µg/l) überschätzt, höhere (über 100 µg/l) dagegen unterschätzt. Insgesamt zeigen die Ergebnisse ein ähnliches Bild wie die zahlreichen Vergleichstests mit verschiedenen Schnelltests an Trinkwasserproben in Süd- und Südostasien (z. B. [4], [5]). Die Messungen erlauben nur eine grobe Einschätzung hoch und gering belasteter Proben. Das Verfahren kann von anderen Wasserinhaltsstoffen gestört werden (z. B. [2]). Minderbefunde auf Grund des Entweichens von Arsin aus dem Reaktionsgefäß sind möglich. Unsere Untersuchung war dabei wahrscheinlich auch von der geringen Erfahrung der Bearbeiter beeinflusst.

## 8. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Vor-Ort-Analytik ist nur dann eine sinnvolle Maßnahme, wenn unmittelbar Entscheidungen getroffen werden sollen, die durch das Abwarten auf Laborergebnisse verzögert oder unmöglich gemacht würden. Reine Kostenersparnisse gegenüber der Laboranalytik sind nur in wenigen Fällen gegeben. Viele Verfahren der Vor-Ort-Analytik sind ungenau oder fehleranfällig. Dies gilt insbesondere, wenn sie nur selten oder von ungeübtem Personal eingesetzt werden. Höherwertige Verfahren werden selten eingesetzt, sodass sie nur geringen Bekanntheitsgrad erreichen und lokale Anbieter in vielen Regionen fehlen. Diese Begrenzungen sind eine wesentliche Ursache, dass Verfahren der Vor-Ort-Analytik insgesamt nur einen geringen Stellenwert in der Praxis erlangt haben. Daneben fehlen den potenziellen Anwendern aber auch häufig Angaben zum tatsächlichen Nutzen der Verfahren. Die veröffentlichten Daten stammen überwiegend von den Systemanbietern, aus Laborexperimenten in Forschungseinrichtungen oder aus Feldexperimenten mit speziell geschultem Personal. Dadurch ergibt sich leicht ein zu optimistischer Eindruck von der Qualität der gewinnbaren Messergebnisse. Unter wirtschaftlichen und organisatorischen Praxisbedingungen durchgeführte Maßnahmen zeigen im Vergleich dann ein oft unbefriedigendes Bild (z. B. [5]). Es wäre daher zu wünschen, dass eine verstärkte Sammlung und Veröffentlichung von Daten aus Anwendungsfällen erfolgte, auch (oder gerade) aus den Nicht-Erfolgsgeschichten.

## Mögliche Interessenskonflikte

Der Autor bietet Verfahren der Vor-Ort-Analytik als Dienstleistung in Verbindung mit einer Beratungstätigkeit an. Der Gebrauch von Produktbezeichnungen erfolgt ausschließlich zur Kennzeichnung der eingesetzten Geräte und Materialien. Es besteht keine Verbindung zwischen den genannten Firmen und dem Autor.

## Danksagung

Die Verwendung von Daten erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Freien und Hansestadt Hamburg Behörde für Umwelt und Energie. Herr Dr. M. Maier, Heidelberg, hat uns bei der Arsen-Analytik beraten. Herr Dr. A. Baermann, Hamburg, hat eine frühe Fassung dieses Beitrags kritisch durchgesehen und kommentiert. Die Veröffentlichung gibt ausschließlich die Auffassungen des Autors wieder.

## Literatur

- [1] BBodSchV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Bundesgesetzblatt, 1999-I: 1554–1582; Berlin
- [2] Das, J.; Sarkar, P.; Panda, J. & Pal, P. (2014): Low-cost field test kits for arsenic detection in water. – Journal of environmental science and health. Part A, 49: 108–115; New York [DOI: 10.1080/10934529.2013.824764]
- [3] Dörr, H.; Bohnert, B.; Guthke, A.; Hansel, H.; Held, T.; Hiesl, E. S.; Leven, C.; Ptak, T. & Koschitzky, H.-P. (2017): Adaptive Erkundungskonzepte und -methoden. – Schriftenreihe des Altlastenforums Baden-Württemberg, 18: 44; Stuttgart [ISBN: 978-3-510-39018-2]
- [4] George, C. M.; Zheng, Y.; Graziano, J. H.; Rasul, S. B.; Hossain, Z.; Mey, J. L. & van Geen, A. (2012): Evaluation of an arsenic test kit for rapid well screening in Bangladesh. – Environmental science and technology, 46: 11213–11219; Easton, PA [DOI: 10.1021/es300253p]
- [5] Rahman, M. M.; Mukherjee, D.; Sengupta, M. K.; Chowdhury, U. K.; Lodh, D.; Chanda, C. R.; Roy, S.; Selim, M.; Quamruzzaman, Q.; Milton, A. H.; Shahidullah, S. M.; Rahman, T. & Chakraborti, D. (2002): Effectiveness and reliability of arsenic field testing kits: Are the million dollar screening projects effective or not?. – Environmental science and technology, 36: 5385–5394; Easton, PA [DOI: 10.1021/es020591o]

## Autorenschaft

### Christian A. Gillbricht

Hydrogeologisches Büro Christian A. Gillbricht  
Randstraße 1–5  
22525 Hamburg  
E-Mail: cagsoft@cagsoft.com

Bildrechte liegen bei der Autorenschaft.

## English Summary

*Since the very beginning of exploration and remediation of contaminated soil and groundwater field screening methods of chemical analyses have been applied. In Germany field screening has found little usage as compared to other countries and the voluminous literature on these methods. In this paper we discuss reasons for this behaviour in the industry and evaluate some technical aspects showing examples from real-world applications.*