

# **ITVA-Vergleichsprobenahme**

## **Ein „Ringversuch“ für Rammkernsondierungen**

**Klaus Bücherl**, LUBAG GmbH, Regensburg  
**Axel Baermann**, Dr. Baermann & Partner, Mikroanalytik Hamburg  
**Björn Bahrig**, Arge Bode- und Grundwasserschutz, Konstanz  
**Norbert Klaas**, VEGAS, Universität Stuttgart

### **1 Einleitung und Zielsetzung**

Bei der Untersuchung von Verdachtsflächen und kontaminierten Standorten werden der Probenahme die größten Unsicherheiten und Fehler zugeschrieben. Während Messunsicherheiten in der chemischen Analytik durch Mehrfachmessungen, zertifizierte Standards und Ringversuche abgeschätzt werden können, fehlen vergleichbare Instrumente für die Probenahme. Dementsprechend gibt es kaum Erfahrungswerte zur Einschätzung der Probenahmefehler. Das gilt sowohl für den statistischen Fehler bei Wiederholungsbeprobungen durch den gleichen Probennehmer, als auch für den Vergleich zwischen mehreren Probenehmern. Für eine qualifizierte Auswertung von Untersuchungsergebnissen sind jedoch Angaben zur Unsicherheit unerlässlich, insbesondere, wenn sie für die Gültigkeit der Prüfergebnisse von Bedeutung sind oder wenn die Unsicherheit die Einhaltung von vorgegebenen Grenzen in Frage stellt (DIN EN ISO/IEC 17025 [5]).

Der ITVA-Fachausschuss F2, Probenahme, hat daher eine vergleichende Probenahme für Kleinrammbohrungen konzipiert und durchgeführt. Dieser Versuch sollte einerseits Erfahrungswerte für Unsicherheiten und Streubreiten bei der Probenahme liefern, andererseits aber auch aufzeigen, ob derartige Versuche taugliche Mittel für die interne Qualitätssicherung von probenehmenden Ingenieurbüros sein können. Aufgrund prinzipieller Unterschiede zu den chemischen Ringversuchen wird für die Untersuchung der Begriff „Vergleichsprobenahme“ gewählt.

Für den Versuchsaufbau wurden Erfahrungen aus dem zeitgleich laufenden DBU-Verbundvorhaben „Entwicklung von High-Tech Sonden für die Untergrundsondierung“ genutzt, in dessen Rahmen verschiedene Sensormesssysteme für Erkundungs- und Beprobungsmaßnahmen mit Hilfe der Vor Ort Analytik geprüft und weiterentwickelt werden. Der Versuch erfolgte in Zusammenarbeit und mit Unterstützung von VEGAS an der Universität Stuttgart.

## **2 Erfahrungen mit Vergleichsprobenahmen**

Bislang liegen nur sehr wenige Erfahrungen mit vergleichenden Probenahmen vor. Squire et al. [9] brachten eine Bariumsulfat-Lösung oberflächlich auf einen Oberboden auf. Die Versuchsteilnehmer mussten zunächst nach einem fest vorgegebenen Raster Proben aus 0 - 15 cm Tiefe entnehmen. In einem zweiten Versuch konnten die Teilnehmer das Probenahmeraster frei wählen. In beiden Fällen war die Aufgabe, eine Bariumkontamination mit Konzentrationen über 171 mg/kg (Durchschnittskonzentration ca. 500 mg/kg) flächenhaft abgrenzen. An dem Versuch nahmen neun Institutionen teil. Durch die Entnahme von Doppelproben wurde versucht den Fehler der einzelnen Probenehmer abzuschätzen und dem Fehler im Vergleich aller neun Probenehmer gegenüberzustellen. Die von den Versuchsteilnehmern ermittelten Bariumgehalte der künstlichen Kontamination schwankten dabei zwischen 200 und 750 mg/kg. Auch bei der räumlichen Abgrenzung des Belastungsschwerpunktes wurden bei einigen Teilnehmern erhebliche Abweichungen festgestellt.

## **3 Versuchsaufbau**

In dem DBU-Forschungsvorhaben haben sich auf verschiedenen Teststandorten sogenannte Bodensäulen-Versuche zur Erprobung von Messtechnik und zur Qualitätssicherung bewährt.. Dort wurden künstliche Bodensäulen in schlagzähen, transparenten Kunststoffrohren mit Durchmessern zwischen 110 bis 250 mm hergestellt und innerhalb von Hüllrohren in einen Container eingebaut oder in Großbohrlöchern auf Testfeldern direkt in den Boden eingelassen.

Für die Vergleichsprobenahme wurde so vorgegangen, dass sich der Schichtaufbau in den Bodensäulen an einem norddeutschen Realprofil orientiert und die Korngrößen der Böden einerseits üblichen, natürlichen Oberböden entsprechen, aber andererseits dem Durchmesser der Bodensäulen im Hinblick auf die Verdrängung angepasst wurden. Die Kontaminationen innerhalb der Bodensäulen sollten sich zunächst auf einen Parameter mit hoher Umweltrelevanz (z.B. KW, EOX, PAK, LCKW) beschränken. EOX-Verbindungen und LCKW erscheinen zwar umweltrelevant, sind aber wegen der Flüchtigkeit und/oder der Gesundheitsgefährdung für derartige Untersuchungen zunächst ungeeignet. PAK-Kontaminationen im Boden können je nach Herkunft und Entstehungsgeschichte unterschiedliche Erscheinungsformen und partikuläre Verteilungsmuster aufweisen. Hohe PAK-Gehalte in bauschutthaltigen Stadtböden liegen meist in den Schluff- und Feinfraktionen vor und sind daher nur unter großem Präparationsaufwand homogen herzustellen. Da für die 10 Bodensäulen über 200 kg belastetes Material aufzubereiten war, bot es sich für die Vergleichsprobenahme an, relativ homogen verteilte, kohlenwasserstoff-belastete Sande einzusetzen.

Aus einem aktuellen MKW-Schadensfall konnte ein mit Dieselkraftstoff belasteter humoser Oberboden und ein Mittelsand gewonnen und aufbereitet werden. Das Bodenprofil dieser Schadensfläche in Hamburg entsprach dem Profiltyp der Geest. Ein stark humoser Oberboden bildet das Auflager zu den Feinsanden, die von feinen Schluff-Horizonten durchzogen sind. Im Liegenden steht ein Geschiebemergel an, der als geologische Barriere wirkt und den ersten Grundwasserleiter vor den MKW-belasteten Stauwässern schützt. Ein vergleichbares Schadstoffprofil ist dann in den 10 Bodensäulen für die Vergleichsprobenahme nachgebaut worden. Im Topbereich findet sich ein etwa 40 cm mächtiges Pflanzsubstrat (Auflager „Mutterboden“), welches nicht kontaminiert ist. Dieses geht in einen humosen Oberboden über, für den im VEGAS-Labor ein MKW-Gehalt von 4.300 mg/kg ermittelt wurde. Darunter folgen MKW-belastete Sandschichten, die mit 3.400 mg/kg eine etwas geringere MKW-Konzentration aufweisen.

Um mögliche Schadstoff-Verschleppungen beim Sondiervorgang innerhalb der Bodensäulen aufzudecken, folgen noch zwei unbelastete Sandhorizonte. Die schluffigen Sande und die zum Säulenende folgenden, humosen Feinstsande stammten aus einem Grundwasserleiter. MKW-dotierte Schichten und unbelastete Sandhorizonte sind jeweils durch schluffige Tondichtungen voneinander getrennt worden (siehe Abb. 1).



**Abbildung 1:** künstliche Bodensäule in transparentem Kunststoffrohr vor dem Einbau in den Container

Die Tondichtungen zwischen den Bodenschichten waren notwendig geworden, nachdem sich in ersten Versuchsserien beim Säulenbau herausgestellt hat, dass es beim Einbau der feuchten Sande zu Porenwasseraustritten kam, die zu einer Verlagerung von MKW-kontaminierten Porenwässern in nicht kontaminierte Bereiche führten. Der Einbau randschlüssiger Tondichtungen innerhalb der Säulen konnte diese Verlagerungen wirksam unterbinden. Somit ergab sich für die 10 Bodensäulen folgender Schichtaufbau:

Tabelle 1: Säulenaufbau (vgl. Abbildung 1)

Tiefe (cm)	Mächtigkeit (cm)	Material
00,0 – 40,0	40	Pflanzsubstrat („Mutterboden“)
40,0 – 94,0	54	humoser Oberboden, < 4 mm, MKW-kontaminiert: 4.300 mg/kg
94,0 – 96,5	2,5	<i>Ton-Dichtungsschicht</i>
96,5 – 113,5	17	Sandschicht, MKW-kontaminiert: 3.400 mg/kg
113,5 – 116,0	2,5	<i>Ton-Dichtungsschicht</i>
116,0 – 131,0	15	Feinsande, schluffig, aus Grundwasserleiter, MKW: < 100 mg/kg
131,0 – 133,5	2,5	<i>Ton-Dichtungsschicht</i>
133,5 – 171,0	37,5	Feinstsande, humos aus Grundwasserleiter MKW: < 100 mg/kg

Bei der Auswertung der Vergleichsprobenahme bleiben die laborinterne Messunsicherheit sowie eventuelle Veränderungen der Schadstoffgehalte von der Herstellung der Säulen bis zur Probenahme unberücksichtigt. Entscheidend ist, dass durch die Versuchsanordnung gewährleistet wird, dass alle Teilnehmer die gleichen Bedingungen vorgefunden haben.

#### **4 Durchführung der Bohrungen und Beprobungen**

Die 10 Bodensäulen wurden von Dr. A. Baermann in Hamburg erstellt und in einen mit Sand befüllten Spezial-Container bei VEGAS in Stuttgart eingesetzt. Der Container besitzt dazu entsprechende Hüllrohre, in denen die Bodensäulen lotrecht eingelassen worden sind und bündig mit der Oberfläche abschließen. Die Oberfläche des Containers ist begehrbar und erlaubt dabei eine Sondierung und ein Ziehen des Gestänges, wie dies auch üblicherweise im freien Gelände durchgeführt werden kann.

An der vergleichenden Probenahme in Stuttgart beteiligten sich insgesamt 8 Institute bzw. Ingenieurbüros.

**Tabelle 2: Teilnehmer der ITVA-Vergleichsprobenahme**

(Die Reihenfolge entspricht nicht der Nummerierung der Teilnehmer in Tabelle 4 und Abb 2)

Firma	PLZ Ort
Arbeitsgemeinschaft Boden- und Grundwasserschutz, Dr. Björn Bahrig, Waldemar Rommel	71691 Freiberg/N 78476 Allensbach
bfm Umwelt Beratung Forschung Management GmbH	86167 Augsburg
BMG Blasy und Mader GmbH	82279 Eching a. Ammersee
CDM Jungbauer GmbH	70499 Stuttgart
GEO4 GmbH	82131 Oberbrunn
LUBAG Ingenieurbüro für Geotechnik und Umweltschutz GmbH	93059 Regensburg
UW Umweltwirtschaft GmbH	70499 Stuttgart
VEGAS	70550 Stuttgart

Die Art und Vorgehensweise bei der Erkundung mit der Kleinrammbohrung oblag dabei den Teilnehmern. Insgesamt waren drei Proben aus belasteten und/oder unbelasteten Horizonten zu entnehmen. Die Analytik von den entnommenen Proben aller 8 Teilnehmer sowie des zur Herstellung der Säulen verwendeten Materials wurde vom VEGAS-Labor ausgeführt, um eine einheitliche Vorgehensweise bei der Probenaufbereitung und bei der GC-Analyse sicherzustellen (Ausschluss bzw. Eingrenzung von möglichen Laborfehlern). Weiterhin waren zur Beprobung entsprechende Schichtenverzeichnisse zu erstellen. Die organoleptisch auffälligen Bereiche waren zu beschreiben und zu beproben. Auf Weisung der Versuchsleiter wurden die aus technischen Gründen eingebauten Tonhorizonte ignoriert. Die beiden unbelasteten Feinsandschichten wurden zu einer Schicht zusammengefasst.

Um realitätsnahe Probenahmebedingungen zu gewährleisten, konnten sich die teilnehmenden Ingenieurbüros nicht gegenseitig beobachten.

## **5 Auswertung der Messergebnisse**

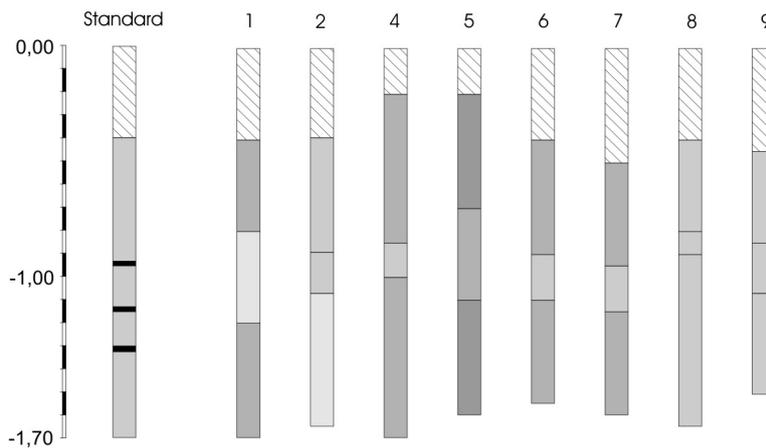
Die Auswertung der erstellten Schichtenverzeichnisse der 8 Teilnehmer ergab, dass der humose Oberboden sowie die Mittelsande und die schluffigen Feinsande von allen Teilnehmern in etwa richtig angesprochen und beschrieben worden sind. Der prinzipielle Schichtaufbau ist vergleichbar. Tendenziell wurde der Feinanteil von einigen Teilnehmern überschätzt. Die Tiefenlage der Schichtgrenzen und die Mächtigkeiten weisen erhebliche Differenzen auf. In der

Abbildung 2 sind die Schichtprofile zum Vergleich in Annäherung an DIN 4022 als Säulen dargestellt, in der Tabelle 3 sind die wichtigsten Werte zur Profilsprache zusammengefasst.

**Tabelle 3: Auswertung der Profilsprache (vgl. Abbildung 2)**

Parameter	Mittelwert	max.	min.	wahrer Wert
<b>Schicht 1</b>				
Mächtigkeit	0,32	0,4	0,2	0,4
Ansprache	Hu/Mu	Torf, s', u	U-Hu, s	Hu,ms
Farbe	sw-d'braun	schwarz	dunkelbraun	
Auffälligkeit	keine			
<b>Schicht 2</b>				
Mächtigkeit	0,46	0,65	0,38	0,54
Ansprache	fS, u'	mS, fs'	fS, u	mS,fs
Farbe	d'braun	dunkelgrau	dunkelbraun	
Auffälligkeit	MKW-Geruch	LSM-Geruch	Diesel-Ger.	
<b>Schicht 3</b>				
Mächtigkeit	0,23	0,4	0,1	0,17
Ansprache	mS, fs	S	fS, ms'	mS,fs
Farbe	hellbraun	beige	gelb	
Auffälligkeit	l. KW-Geruch	LSM-Geruch	MKW-Geruch	
<b>Schicht 4</b>				
Mächtigkeit*	0,56	0,78	0,45	0,575
Ansprache	fS-mS, u'	S,gs	fS,u'	mS,fs
Farbe	grau	dunkelgrau	gelb	
Auffälligkeit	uneinheitlich	Bänder	keine	

Es wird deutlich, dass der Mittelwert jeweils mit dem beim Herstellen der Säulen gemessenen Schichtenaufbau relativ gut übereinstimmt. Im Einzelfall ergeben sich Differenzen zwischen den Schichtmächtigkeiten von rund 200 % (Max/Min), bei der geringmächtigen Schicht 3 sogar von 400 %. Diese Unterschiede wirken sich dann in erheblich abweichenden Gesamtprofilen aus (siehe Abb. 2).



**Abbildung 2:** Schichtprofile der Versuchsteilnehmer im Vergleich mit der Standard-Referenzsäule (links), **schraffiert:** Oberboden, **schwarz:** aus technischen Gründen eingebaute Ton-Dichtungsschicht (wurde vereinbarungsgemäß von den Teilnehmern nicht angesprochen), **Graustufen:** Helligkeitsabstufung nach steigendem Schluffgehalt von kiesiger Sand (hell) bis schluffiger Sand (dunkel). Deutlich wird, dass z.B. die Teilnehmer 4, 5, 6 und 7 tendenziell den Schluffgehalt überschätzen

Bei der organoleptischen Ansprache wurde von allen Teilnehmern ermittelt, dass eine Belastung bis in etwa 1,2 m Tiefe vorliegt, die Ansprache des Geruches ist unterschiedlich. Die aufgeführten Schichtgrenzen zwischen belasteten und unbelasteten Bereichen variieren auch hier ebenfalls zwischen 0,2 bis 0,3 m. Das bedeutet eine Abweichung gegenüber dem vorgegebenen Wert von 71 cm von rund +/- 30 %.

Die Auswertung der MKW-Bestimmungen an den drei Einzelproben aus den Bodensäulen ergab, dass bei sechs Teilnehmern der humosen Oberboden gegenüber dem Feinsand im Liegenden als höher MKW-belastet analysiert wurde. Die MKW-Gehalte liegen hier zwischen 4.200 bis 5.400 mg/kg. In der Referenzbodensäule (konventionell wahrer Wert) wurden 4.300 mg/kg ermittelt. Im Mittelsand streuen die Werte zwischen 2.100 bis 5.000 mg/kg, während in der Referenz-Säule 3.400 mg/kg analysiert worden sind. Bei keinem Teilnehmer waren jedoch die Proben aus den beiden unbelasteten Horizonten kontaminationsfrei. Die hier ermittelten MKW-Gehalte sind zwar deutlich niedriger als in den beiden oberen, belasteten Horizonten, werden aber dennoch als belastet mit MKW-Gehalten zwischen 110 bis 730 mg/kg beschrieben. In den Proben von 4 der 8 Teilnehmer wurden MKW-Gehalte von deutlich über 300 mg/kg gemessen. Während die Streubreite der MKW-Gehalte in den kontaminierten Schichten noch in der Größenordnung der aufgrund der Variabilität des Bodens zu erwartenden Messunsicherheit liegt, deuten die vergleichsweise hohen Schadstoffgehalte der unbelasteten Schicht auf Einflüsse aus der Probenahme hin. Neben der Auswahl und Festlegung der zu beprobenden

Bereiche dürften primär typische Verschleppungen während des Sondiervorganges hierfür verantwortlich sein.

**Tabelle 4: MKW-Gehalte [mg/kg] der von den Versuchsteilnehmern entnommenen Bodenproben**

Teilnehmer	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4
<b>1</b>	4700	5000	730
<b>2</b>	4200	3100	180
<b>4</b>	4400	2900	120
<b>5</b>	5400	3700	160
<b>6</b>	5000	2900	350
<b>7</b>	4900	4800	110
<b>8</b>	5100	2100	490
<b>9</b>	4800	4900	440
<b>Min</b>	4200	2100	110
<b>Max</b>	5400	5000	730
<b>Mittelwert</b>	4810	3680	320
<b>Standardabweichung</b>	382	1120	222
<b>Konventionell wahrer Wert</b>	<b>4300</b>	<b>3400</b>	<b>&lt;100</b>

## **6 Ausblick**

Die Ergebnisse aus den Testfeld-Untersuchungen anhand von Bodensäulen und die vergleichende Probenahme im Rahmen der Vergleichsprobenahme zeigen zum Einen, dass erhebliche Schichtverschleppungen und ggf. Nachfall durch den eigentlichen Sondiervorgang ausgelöst werden. Andererseits wird deutlich, dass in der Profilansprache erhebliche Unterschiede auftreten, die neben mechanischer Verschleppung auch Ungenauigkeiten in der Teufenermittlung vermuten lassen. Insbesondere geringmächtige Horizonte werden „falsch“ eingeschätzt, was in der Praxis z.B. zu erheblichen Fehleinschätzungen von Kubaturen führen kann. Die Ergebnisse zeigen, wie vorsichtig man bei der Auswertung von Bohrprofilen und Schichtmächtigkeiten vorgehen muss, Abweichungen von 200 % zwischen maximal und minimal ermittelter Mächtigkeit sind die Regel.

Die mechanisch bedingten Fehler beim Bohren und Ziehen der Geräte führen unter ungünstigen Umständen zu Vermischungen von unterschiedlich belasteten Horizonten und schlagen sich gleichsam in einer Schadstoffverschleppung nieder. Wie Färbeversuche mit Ziegelmehl zeigen, tritt dieser Effekt auch bei wesentlich größeren Säulen-Durchmessern auf und ist daher kein Spezifikum des Sondiervorgangs in einer Bodensäule von 140 mm Durchmesser[12][13].

Versuche mit Bodensäulen auf Testfeldern erscheinen damit im Rahmen der Qualitätssicherung von Sondiermaßnahmen bzw. Beprobungen dringend erforderlich[14]. Die vorliegende Untersuchung kann mangels statistischer Aussagekraft nur ein erster Test sein, ob derartige Vergleichsuntersuchungen sinnvoll sind. Die Ergebnisse zeigen, dass es zum einen erforderlich ist, weitere Vergleichsprobenahmen durchzuführen, es andererseits durchaus lohnend sein könnte, Möglichkeiten zur Minimierung der beobachteten Fehler zu entwickeln und zu testen.

Da in der Praxis mit unterschiedlichsten Konzepten und Techniken beprobt wird, könnte es auch interessant sein, gerade die dadurch hervorgerufenen Abweichungen zu untersuchen. Dazu müssten den Teilnehmern freigestellt werden, mit welchem Probenahmeplan und welchen Entnahmetechniken eine bestimmte Aufgabe gelöst wird. Dies könnte zum Beispiel eine Haldbeprobung sein, bei der Anzahl der Einzel- und Mischproben nicht festgelegt wird. Komplexer und bereits mit Auswertung verknüpft wäre die Aufgabe, eine bekannte Kontamination von der Belastung und Schadstoffverteilung her zu beschreiben.

- [1] **DIN 4021**, Ausgabe:1990-10  
Baugrund; Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben
- [2] **DIN 4022-3**, Ausgabe:1982-05  
Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein),
- [3] **DIN ISO 10381-1**, Ausgabe:2003-08, Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahmeprogrammen (ISO 10381-1:2002),
- [4] **DIN ISO 10381-2**, Ausgabe:2003-08, Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 2: Anleitung für Probenahmeverfahren (ISO 10381-2:2002)
- [5] **DIN ISO/IEC 17025**: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien: 2004-02
- [6] **DIN 38402-41**, Ausgabe:1984-05  
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Allgemeine Angaben (Gruppe A); Ringversuche, Planung und Organisation (A 41)
- [7] **ITVA-ARBEITSHILFE F2-2/95**: Aufschlussverfahren zur Feststoffprobengewinnung für die Untersuchung von Verdachtsflächen und Altlasten
- [8] **RAMSEY, M.H, SQUIRE, S., GARDNER, M.J.:** Synthetic reference sampling target for the estimation of measurement uncertainty, Analyst, 1999, 124, 1701-1706
- [9] **SQUIRE, S., RAMSAY, M.H., GARDNER, M.J.:** Collaborative trial in sampling for the spatial delineation of contamination and the estimation of uncertainty, Analyst, 2000, 125, 139-145

- [10] **SQUIRE, S., RAMSAY, M.H., GARDNER, M.J., LISTER D.:** Sampling proficiency test for the estimation of uncertainty in the spatial delineation of contamination, *Analyst*, 2000, 125, 2026-2031
- [11] **SQUIRE, S., RAMSAY, M.H.:** Inter-organisational sampling trials for the uncertainty estimation of landfill gas measurements, *J. Environ. Monit.* 2001, 3, 288-294
- [12] **BAERMANN, A., FLACHOWSKY, J., KLAAS, N.:** Aufbau eines Testfeldes zur Erprobung von Vor-Ort-Methoden, Symposium Vor-Ort-Analytik Feldmesstechnik für die Erkundung von Altstandorten, Stuttgart, 2004
- [13] **BAERMANN, A.:** Bodenprobenentnahme im Vergleich – Vorgehensweise und Ergebnisse eines Bodenringversuches, VEGAS-Statuskolloquium 2004, Stuttgart, 2004
- [14] **DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU):** Verbundvorhaben zur „Entwicklung von High-Tech-Methoden zur Untergrunderkundung“, 2002-2004, Forschungsberichte der Teilvorhaben Az.: 19229 und 19220