

Freie Universität Berlin

Probennahme und Qualitätssicherungsmaßnahmen
bei Bodenkontaminationen mit sprengstofftypischen
Verbindungen

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum naturalium
am Fachbereich Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Dipl.-Ök. Frank Küchler
aus Werder
2011

1. Gutachter:

Professor Dr. mult. Dr. h.c. Konstantin **Terytze**
Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften

2. Gutachter

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Kurt **Ziegler**
Technische Universität Berlin, FG Entsorgungs- und Rohstofftechnik (Sprengtechnik)

Datum der Disputation: 20.04.2011

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation „Probennahme und Qualitätssicherungsmaßnahmen bei Bodenkontaminationen mit sprengstofftypischen Verbindungen“ selbständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Ich erkläre weiterhin, dass die Dissertation bisher nicht in dieser oder anderer Form in einem anderen Prüfungsverfahren vorgelegen hat.

Werder, den 17.01.2011

Frank Kückler

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Einleitung und Zielstellungen	11
1.1	Einleitung	11
1.2	Zielstellungen	12
2	Recherche zu Veröffentlichungen zur Probennahme von explosivstoffbelasteten Böden und anderen Umweltmedien	14
3	Relevante Explosivstoffe und deren Eigenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Probennahme	17
3.1	Allgemeines zu Explosivstoffen	17
3.2	Stoffliche Eigenschaften und deren Stabilität, Explosibilität und Toxizität bei der Probennahme	18
4	Auswertung von Probennahmen auf explosivstoffbelasteten Liegenschaften	36
4.1	Sprengstoffwerk X – Grundwasserbelastungen	36
4.2	Sprengstoffwerk X – Bodenbelastungen	42
4.3	Handgranatenwurfplatz	45
4.4	Truppenübungsplatz – Artilleriezielfeld und Sprengplatz	48
5	Probennahmeverfahren und deren Eignung für sprengstofftypische Verbindungen	53
5.1	Bodenprobennahme	53
5.1.1	Grundlagen	53
5.1.2	Planung, Koordination, Abstimmung	54
5.1.3	Durchführung von Kleinrammbohrungen	55
5.1.4	Handbohrungen	63
5.1.5	Schurfe	63
5.1.6	Ferngesteuerte Bohrungen	65
5.2	Wasserprobennahme (Grundwasser, Schichtenwasser, Oberflächenwasser, Abwasser)	66
5.2.1	Allgemeine Vorbereitung	66
5.2.2	Grundwasserprobennahme	67
5.2.3	Schichtenwasser, Porenwasser	70
5.2.4	Abwasser	71
5.2.5	Oberflächengewässer, Wasser und Sediment	72
5.3	Bodenluft	74
5.4	Probennahmebegleitende Vor-Ort-Untersuchungsmethoden	77
6	Arbeitssicherheit bei der Probennahme in mit sprengstofftypischen Verbindungen belasteten Bereichen	79

	Seite
6.1 Grundlagen	79
6.2 Anwendungsbeispiel als praxiserprobte Variante	85
6.2.1 Gefahrenbewertung unter den Gesichtspunkten des Gesundheitsschutzes für Arbeitnehmer	85
6.2.2 Erkundungsverfahren	85
6.2.2.1 Zeitlicher Ablauf in der Bearbeitung der einzelnen Kontaminationen und der Einzelgewerke	85
6.2.2.2 Allgemeine Beschreibung der Verfahrensschritte und Arbeitsweisen	86
6.2.2.3 Ermittlung der Tätigkeiten mit Gefahrstoffexpositionen	89
6.2.3 Arbeits- und Gesundheitsschutz	91
6.2.3.1 Beschreibung der speziellen Baustelleneinrichtung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen	91
6.2.4 Organisatorische Schutzmaßnahmen	95
6.2.4.1 Einteilung in Schutzzonen	95
6.2.4.2 Festlegung der technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen	95
6.2.4.3 Allgemeine Verhaltensregeln	95
6.2.4.4 Besondere Verhaltensregeln für den Gefahrfall	97
6.2.4.5 Benutzung der Dekontaminationseinrichtungen und –anlagen	97
6.2.4.6 Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung	97
6.2.5 Technische Schutzmaßnahmen / Anwendbarkeit technischer Schutzmaßnahmen bzw. Vermeidungsstrategien	98
6.2.6 Persönliche Schutzausrüstungen	100
6.2.6.1 Festlegung von Schutzstufe und Leistung der besonderen persönlichen Schutzausrüstungen entsprechend der Schutzzoneneinteilung bzw. der Tätigkeiten mit Gefahrstoffexposition	100
6.2.6.2 Festlegung der Intervalle von Unterweisung und Übungen	102
6.2.7 Begleitendes Gefahrstoffmessprogramm zu Überwachung der Arbeitsplatzbedingungen	102
6.2.8 Entsorgung	103
6.2.8.1 Verhaltensregeln zur Handhabung und Entsorgung kontaminierter Schutzausrüstungen und anderer kontaminierter Gegenstände	103
6.2.8.2 Verhaltensregeln zur Handhabung und Entsorgung kontaminierter Wässer aus Dekontaminationsanlagen	103
6.2.9 Dokumentation und Nachweise	103
6.2.9.1 Festlegung der vom Koordinator vorzunehmenden Dokumentationen	103

	Seite
6.2.9.2 Festlegung der vom Auftragnehmer vorzunehmenden Dokumentationen bzw. vorzulegenden Nachweise	104
7 Zusammenfassung	105
8 Literaturverzeichnis	109
9 Anhang 1	115
9.1 Muster für Gliederung und Inhalte des Arbeits- und Sicherheitsplanes für die Probennahme in Verdachtsbereichen auf Kontaminationen mit sprengstofftypischen Verbindungen und Sprengstoffrückständen nach TRGS 524, BGR 128, BGI 833	115
9.2 Normative Verweise – Musterurkunde Probennahme der Deutschen Akkreditierungsstelle (aktuell auf www.dakks.de)	120

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Ergänzter Überblick über explosive Substanzen mit Beispielen nach Trommsdorf (Vortrag bei der DCHAB Schweiz)	17
Abb. 2: Zwei TNT-Brocken je 20 x 20 x 10 cm aus dem Umfeld einer gesprengten Kühlturmschikane eines Sprengstoffwerkes	19
Abb. 3: Probennahme von TNT-Brocken aus Abwasserschlämmen	19
Abb. 4: Auskristallisiertes TNT unter einer Produktionsanlage	19
Abb. 5: Vermutlich Gießrückstände aus TNT	20
Abb. 6: Kristalline TNT Schlämme	20
Abb. 7: Pulverartige Substanz mit > 80 % TNT Anteil in einer Entwässerungsleitung einer Munitionsfüllstelle	20
Abb. 8: TNT-Kristall im Mittelsand	20
Abb. 9: Gefärbte TNT-Bröckchen im Boden mit hoher Dichte (um 20 g/kg TM)	21
Abb. 10: Mit Sand „verbackenes“ TNT, z. B. nach Schmelze oder Auskristallisation	21
Abb. 11: Proben aus dem Aushubareal einer Sprengstofffabrik mit „TNT-Schnelltest“ (s. Abschn. 5.4) geprüft und folgenden Laboruntersuchungsergebnissen in mg/kg TM	22
Abb. 12: Mittels Pflugscharmischanlage homogenisiertes Probenmaterial aus den Haufwerken der vorhergehenden Proben	22
Abb. 13: Ergebnisse des „TNT Schnelltests“ von Einzelproben aus von Hand gut durchmischten Probenmaterial	23
Abb. 14: Lichtinduzierte Transformation von 2,4,6-TNT in Oberflächengewässern	30
Abb. 15: Wesentliche mikrobielle Transformationswege des TNT in der ungesättigten Zone	31
Abb. 16: TNT auskristallisiert (mikroskopisch von Bodenfund im Sprengstoffwerk)	32
Abb. 17: TNT gegossen (mikroskopisch aus zerschellten Granaten)	32
Abb. 18: Grundwasserprobennahme auf dem Werksgelände	37
Abb. 19: Darstellung des Zusammenhangs STV im Grundwasser und der Geruchsintensität	40
Abb. 20: Darstellung des Zusammenhangs BTEX im Grundwasser und der Geruchsintensität	40
Abb. 21: Darstellung des Zusammenhangs STV im Grundwasser und der Vor-Ort-Parameter elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff und Redoxpotential	41
Abb. 22: Mit TNT-Stücken und auskristallisiertem TNT hoch belasteter Oberboden, vergrößert aus dem nebenstehenden Schurf	42

	Seite
Abb. 23: Graphik der Ergebnisse der TNT-Schnelltests und der Laboranalytik	44
Abb. 24: STV belasteter Boden unter einem ehemaligen Gebäude und Boden–Bauschutt-Gemische mit stückigem TNT	44
Abb. 25: Bereich eines ehemaligen Handgranatenwurfplatzes, der nachträglich teilweise stark verändert wurde und dadurch schlecht eingrenzbar war	46
Abb. 26: Handgranatenzielbereich mit Darstellung der Untersuchungspunkte	47
Abb. 27: Fotodokumentation des Lochspatenschurfs mit Darstellung des TNT-Schnelltests	47
Abb. 28: Luftbild des Untersuchungsbereiches mit Sprengtrichtern [Google Earth, 2010]	48
Abb. 29: Gelände mit Sprengtrichtern	49
Abb. 30: Granateinschlagrichter ca. 2 m Durchmesser aus dem aktuellen Übungsbetrieb	49
Abb. 31: Versprengte und angesprengte Munition	50
Abb. 32: Probennahmestelle in einem Rasterfeld zur Entnahme von 28 Einzelproben	50
Abb. 33: Lageplan der Rasterpunkte und Mischprobenzentren mit Darstellung des einzigsten Nachweises von STV	52
Abb. 34: Munitionsseparationsanlage im Einsatz	53
Abb. 35: Funkfernsteuerung mit Monitor	65
Abb. 36: Videoüberwachte funkferngesteuerte Bohrung im Initialsprengstoffbunker- Bereich	65
Abb. 37: Ionenmobilitätsspektrometer der Firma IUT Institut für Umwelttechnologien GmbH und das Stoffspektrum detektierbarer STV	78
Abb. 38: Probennahme im STV-belasteten Bereich	88
Abb. 39: Baustelleneinrichtungsplan	94

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Liste der in militärischen Altlasten häufigen STV und einige Probennahmerelevante Eigenschaften im Vergleich zu auftretenden Energien, die bei Sondierungen auf den Boden wirken können	25
Tab. 2: Liste der STV für die GC-Analytik der Normung im DIN-AK 53	28
Tab. 3: STV-Prüfwerte in der Revision der BBodSchV	28
Tab. 4: Stoffeigenschaften von TNT	31
Tab. 5: Stoffeigenschaften von PETN	34
Tab. 6: Stoffeigenschaften von RDX	325
Tab. 7: Untersuchungsergebnisse eines Grundwassermonitorings	39
Tab. 8: Gegenüberstellung der Ergebnisse der TNT-Schnelltests und der Laboranalytik	42
Tab. 9: Ergebnisse des TNT-Schnelltests und der TNT Analysen	48
Tab. 10: Auszug aus dem Prüfbericht mit Ergebnissen der Mischprobe M2	51
Tab. 11: Repräsentative Mindestprobenmenge nach dem Größtkorn gemäß DIN 18123	57
Tab. 12: Gewinnbare Probenmasse ist abhängig vom Durchmesser der Rammkernsonde	57
Tab. 13: Verfahrenstypenvergleich	87
Tab. 14: Standard der persönlichen Schutzausrüstung	89
Tab. 15: Arbeitsschritte mit Gefahrenbetrachtung	90
Tab. 16: Zuordnung der persönlichen Schutzausrüstung zu den einzelnen Schutzklassen	101

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
AltholzV	Altholzverordnung
AltöIV	Altölverordnung
AQS	Analytische Qualitätssicherung (Merkblätter zu den AQS Rahmenempfehlungen der LAWA)
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BGBI	Bundesgesetzblatt
BGI	Berufsgenossenschaftliche Informationen und Grundsätze für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BG-Regel	Regeln der Berufsgenossenschaft
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BTEX	aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol
DAkkS	Deutsche Akkreditierungsstelle
DepV	Deponieverordnung
DEV	Deutsches Einheitsverfahren
DIN	Deutsches Institut für Normung
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau
EN	Europäische Norm
EPA	Environmental Protection Agency
EVO	Eisenbahnverkehrsordnung
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GeODin	kommerzielles Schichtenerfassungsprogramm
HDPE	High-density polyethylene
IEC	International Electrotechnical Commission
IMS	Ionenmobilitätsspektrometer
ISO	International Organization for Standardization
ITVA	Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
n.n.	nicht nachweisbar
OFD-H	Oberfinanzdirektion Hannover
PSA	persönliche Schutzausrüstung
ROK	Rohroberkante
SEP	Schichtenerfassungsprogramm
SEP WIN	Schichtenerfassungsprogramm Windows
Tab.	Tabelle
TM	Trockenmasse
TP BF - StB	Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
SprengG	Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz – SprengG)
STV	Sprengstofftypische Verbindungen
UBA	Umweltbundesamt
USAAF	United States Army Air Forces
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDLUFA	Verband der landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung und Zielstellungen

1.1 Einleitung

In der Nacht zum 16. April 1945 um 3.00 Uhr eröffneten 40 000 Geschütze gleichzeitig das Feuer auf die deutschen Stellungen der Seelower Höhen. Zeitzeugen berichten, dass die Morgendämmerung sofort verschwand. Ohrenbetäubender Lärm erfüllte die Luft. Es war ein Orkan, der um die deutsche Stellungen alles zerriss. Der Boden bebte und schaukelte wie ein Schiff bei Windstärke 10. Schreie und Kommandos wurden erstickt durch Stahl, Erde und beizenden Rauch aus einem Vulkan, der sich urplötzlich mit unvorstellbarer Gewalt entlud [Le Tissier, 2001].

Die Mengen an Munition, die im zweiten Weltkrieg zum Einsatz kam, lässt sich insgesamt nicht mehr recherchieren. Die Westalliierten haben im zweiten Weltkrieg 2,8 Mio. Tonnen Bomben auf Europa abgeworfen. Davon fielen die Hälfte auf das Gebiet des Deutschen Reiches [USAAF, 1947].

Auf der 8. Fachtagung Kampfmittelbeseitigung vom 29.-30.01.2009 in Dresden wurde eingeschätzt, dass die Kampfmittelräumung in Deutschland nicht nur ein Tagesgeschäft, sondern eine Aufgabe mit Zukunft ist. Große Flächen, beispielsweise im Land Brandenburg 392 000 ha, gelten als belastet. In Seen, Flüssen und Kanälen befinden sich große Mengen von Abwurfmunition, verklappte oder auf dem Rückzug der Wehrmacht hineingeworfene Munition. Herr Laspe, Leiter vom Munitionszerlegebetrieb Großnordsee, Schleswig-Holstein sprach von 300 000 bis 1 500 000 t Kampfmitteln in den so genannten Versenkungsgebieten in Ost- und Nordsee [mündliche Mitteilung, 2009].

Im Gegensatz zu den akuten Gefahren, wie Explosion bei unabsichtlichem Freilegen oder Anbohren bei Baumaßnahmen, fahrlässigem Verhalten oder Selbstauslösung (z. B. Langzeitzünderbomben) von Munition werden die latenten Gefahren durch freigesetzte Explosivstoffe und deren Reaktions- sowie Abbauprodukten bisher nur wenig beachtet.

Nach über 60 Jahren Kriegsende ist die Munition in Böden, in Sedimenten und im Wasser so verrottet, dass es im zunehmenden Maße zu Austrägen von Explosivstoffen in die Umwelt kommt. Dabei lässt die Zündfähigkeit und Brisanz nicht etwa nach, sondern nimmt, wie von [Trommsdorf, 2007] nachgewiesen, zu. Weitere Einträge in den Böden entstanden durch die Rüstungsproduktion an den jeweiligen Standorten, durch Zerscheller (durch Aufschlag zerplatzte Bomben und Granaten), durch Sprengung von Munitionslagern und Munitionsanstalten, durch Abbrand von Munition auf und um Brandplätze usw.

Die explosive Umsetzung von Sprengstoff ist nie vollständig. In der Literatur findet man Angaben, die in Abhängigkeiten der Explosivstoffe, ihrer Mischungsverhältnisse, Phlegmatisierung und Streckung von bis zu 20 % Explosivstoffrückständen u. a. als Schmauch und explosivstoffhaltigen Feinstaub verbleiben. Diese Rückstände entstanden

nicht nur im Krieg, sondern sie entstehen immer noch auf zivilen und militärischen Schiessständen, auf Truppenübungsplätzen, auf Sprengplätzen, bei Sprengungen von nicht handhabungssicherer Fundmunition, bei Sprengungen zum Abbruch oder im Bergbau, in Munitionsbeseitigungsanlagen und bei der Auslösung von Airbags usw.

Die latente Gefährdung der Schutzgüter kann bei Direktkontakt des Menschen mit explosivstoffbelastetem Staub, Boden, Wasser und Trinkwasser zur akuten Gefahr werden. Bei einem Großteil der Explosivstoffe handelt es sich um kanzerogene Verbindungen.

So sind der Gefahrstoffverordnung im Anhang IV Nr. 23 – Besonders gefährliche krebserzeugende Stoffe die N-Nitrosaminverbindungen aufgeführt. Diese sind in fast allen Explosivstoffen und Treibmitteln in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen vorhanden. Weiterhin sind die Detonationsrückstände alveolengängig (Anteil von einatembaren Stäuben, der die Alveolen und Bronchiolen erreichen kann). Damit fallen diese Nebel bzw. Stäube unter Anhang III Nr. 2 - Partikelförmige Gefahrstoffe der Gefahrstoffverordnung. Betroffen sind bei einem nicht unwahrscheinlichen Zusammentreffen ungünstiger Umstände nicht nur Militärangehörige, Feuerwerker, Munitionsräumarbeiter, sondern jeder Bürger, der beispielsweise an einer staubigen Baugrube vorbeigeht, im Wald Fahrrad fährt, baden geht oder Trinkwasser genießt.

In der Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 werden sprengstofftypische Verbindungen nicht aufgeführt. Im neuesten Entwurf der BBodSchV sind wichtige Explosivstoffe und deren Abbauprodukte für den Direktpfad „Boden-Mensch“ und Pfad „Boden-Grundwasser“ aufgenommen worden. Dazu erfolgen grundlegende normative Neuregelungen zur Analytik auf nationaler und internationaler Ebene. Ringversuche werden diesbezüglich erstmalig organisiert. Die Probennahme spielt im Rahmen der Ergebnissicherheit eine wesentliche Rolle. Bei der Probennahme sind neben den stofflichen Eigenschaften die Repräsentanz und Haltbarkeit der Probe bis zur Analytik auch die eigentlichen explosivstofftypischen Gefahren zu beachten. Hier spielt neben der BGR 128: Kontaminierte Bereiche und der TRGS 524 – Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen, die BGI 833: Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen bei der Kampfmittelräumung eine Rolle. Nach Sprenggesetz SprengG §7 Abs. 1 ist der Umgang mit explosionsgefährlichen Stoffen erlaubnispflichtig.

1.2 Zielstellungen

Die Probennahme zur Untersuchung auf sprengstofftypische Verbindungen erfolgt unter den speziellen Bedingungen der Gefährdung durch toxische Eigenschaften, Explosibilität der zu

beprobenden Medien und der möglichen Gegenwart von Munition. In der vorliegenden Dissertation werden ausgehend von den stofflichen Eigenschaften von Sprengstoffen und vor allem den praktischen Erfahrungen des Autors bei der Probennahme explosivstoffbelasteter Böden und Gewässer Schlussfolgerungen für die Durchführung der Probennahme gezogen.

Bei der Aufnahme sprengstofftypischer Verbindungen in die BBodSchV zur Beurteilung der Bodenqualität sind vorab nicht nur die analytischen Grundlagen zu klären, sondern auch zu prüfen, wie die Proben zu entnehmen, zu handhaben und zu transportieren sind. Hierzu sind für die Probennahme Grundlagen zu untersuchen.

Im Wesentlichen handelt es sich bei den in der Dissertation zu betrachtenden Probennahmeverfahren um die Bodenprobennahme, die Bodenluftprobennahme, die Probennahme von Grund – und Oberflächenwasser. Dafür werden Musterarbeitsanweisungen zur Probennahmeplanung und zur Probennahme von sprengstoffbelasteten Umweltmedien erstellt.

Für die Optimierung der Probennahme in Kontaminationsverdachtsbereichen auf sprengstofftypische Verbindungen und im Rahmen der Arbeitssicherheit werden ausgewählte Vor-Ort-Untersuchungsverfahren, die sich bisher bei den unter Mitwirkung des Autors durchgeführten Projekten bewährt haben, aufgeführt und bewertet.

Im Bereich Kampfmittelräumung, Sprengwesen und Feuerwerk werden besondere Anforderungen an das Personal gestellt. Im Rahmen der Dissertation wird geprüft, inwieweit diese Anforderungen auch auf den Bereich Probennahme bei Kontaminationen mit sprengstofftypischen Verbindungen übertragen werden müssen, wobei diese Arbeit nicht den Charakter eines Rechtsgutachtens tragen kann.

Wenn im sprengstoffkontaminierten Bereich gearbeitet wird, werden sich die arbeitssicherheitsseitigen Anforderungen über die des herkömmlichen kontaminierten Bereiches (BGR 128, TRGS 524) erweitern. Dazu wird ein Ablaufschema zur Gefahrenbeurteilung und Arbeitssicherheitsplanung bei der Probennahme auf explosivstoffbelasteten Liegenschaften und ein Musterarbeitssicherheitsplan für die Probennahme in mit sprengstofftypischen Verbindungen belasteten Bereichen entwickelt.

Die Schwerpunkte vorgelegter Dissertation sind:

- Auswertung von Literatur bezüglich der Probennahme in sprengstoffbelasteten Bereichen
- Darstellung wichtiger probennahmerelevanter Stoffeigenschaften von häufig in Kontaminationsbereichen gefundenen Sprengstoffen
- Erläuterung von Probennahmestrategien und Darstellung von eigenen praktischen Erfahrungen bei der Probennahme von mit sprengstofftypischen Verbindungen kontaminierten Böden

- Erstellung von Handlungsleitfäden für die Probennahme bezogen auf sprengstofftypische Verbindungen
- Darstellung von Maßnahmen zur Arbeitssicherheit bei der Probennahme im sprengstoffbelasteten Bereichen

2 Recherche zu Veröffentlichungen zur Probennahme von explosivstoffbelasteten Böden und anderen Umweltmedien

Im Rahmen einer Dissertation wurden von [Radtke, 2005] als Zielstellungsfrage Untersuchungen zur Homogenität und Stabilität sprengstoffbelasteter Böden auf das Analyseergebnis bei sprengstofftypischen Verbindungen durchgeführt. Bei der Beprobung hoch belasteter Böden auf Sprengplätzen wurde ein sehr hoher Unterschied in der Belastung der Siebfraction < 3 mm und dem Siebüberlauf gefunden. Ursache waren Sprengstoffpartikel > 3 mm, die bei der Absiebung verloren gehen. Bereits in [Radtke et al., 2001] wird auf die inhomogene Verteilung von TNT hingewiesen während gleichzeitig ADNT relativ homogen in Böden verteilt vorliegt. Das ist bei der Analyse hoch belasteter Flächen zu beachten. Das partikuläre Vorliegen von TNT ist außerdem zu beachten bei der Beurteilung der Verfügbarkeit des vorhandenen TNT für die Verlagerung mit dem Sickerwasser.

Um eine bessere Homogenität der Proben zu erreichen, wurden größere Mengen Boden (bis zu 40 l) in einem Betonmischer für 2 Stunden mit dem halben Volumen Aceton aufgeschlämmt [Radtke et al., 2001]. Diese Methode erweist sich als geeignet, die Homogenität der Proben zu verbessern. Verluste an TNT treten dabei nicht auf und es wird eine prinzipielle Eignung auch für RDX-, HMX- und Tetryl-belastete Böden postuliert. Nachteil ist der hohe Acetonverbrauch und die Feuergefahr, die die Explosionsgefahr übersteigt.

Die Homogenisierung von hoch belasteten Proben mit Aceton wird auch bei [Hewitt et al., 2007] aufgegriffen, allerdings im Labormaßstab und unter Verwendung eines Abzugs, was die Gefährdung durch das Lösungsmittel erheblich verringert. Im Vergleich mit einer gemörserten Probe erweist sich die Behandlung mit Aceton als ähnlich effektiv in Bezug auf eine Homogenisierung des Probenmaterials. Es werden allerdings geringe Verluste leicht flüchtiger Substanzen wie Nitroglyzerin und 2,4-DNT berichtet.

Verschleppungen von Kontaminanten beim Mörsern werden erst bei Konzentrationen > 100 mg/kg beobachtet. Es wird einmal mehr betont, dass ein Absieben der getrockneten Proben < 2 mm und anschließende Probenteilung nicht geeignet sind, repräsentative Teilproben im Feld zu erhalten [Hewitt et al., 2007].

Die Lagerstabilität getrockneter Böden bei Lichtausschluss wurde über einen Zeitraum von 53 Tagen nachgewiesen und es werden erheblich längere Lagerzeiträume als unkritisch angesehen [Hewitt et al., 2007].

Es wird bei [Hewitt et al., 2007] eine Reihe weiterer Literaturstellen angeführt (z.B. [Jenkins et al., 2005]), die eine Übersicht der US-Forschung im Bereich der Probennahme und Vorbereitung auf STV-kontaminierten Flächen gibt. Praktisch alle setzen direkt auf den entsprechenden EPA-Richtlinien 8330 und 8095 [US EPA, 2006, 2007] auf.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt veröffentlichte bei einer Informationsveranstaltung in Hof am 03.03.2010 eine Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen [Schwendner, 2009]. Diese besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen. Im Praxisteil werden die Grundlagen für die Bearbeitung von Sprengplätzen dargestellt. Der zweite Teil gibt als Anhang historische und ergänzende technische Hintergrundinformationen.

Es wird besonderen Wert auf eine hinreichend genaue historische Auswertung recherchierter Daten gelegt. So sind folgende Arbeitsschritte vor den Geländearbeiten unabdingbar:

- Rekonstruktion der gesprengten Munitionsmengen (Munitionsbilanz)
- Rekonstruktion der Sprengbereiche, der Auswurfzonen und des Streugebietes
- Exakte Übertragung der Verdachtsflächen auf digitale Flurkarten mittels GIS
- Ergänzende geomagnetische Flächensondierungen zur Trichterlokalisierung, sofern aussagekräftige Luftbilder fehlen
- Aufstellen des Probennahmeplans
- Erstellen des Arbeitssicherheitskonzepts

Es wird anhand umfangreicher Beschreibungen stofflicher Eigenschaften von Sprengstoffen und ihrem Umweltverhalten, auf eine ausreichend große Rohprobenmenge von mindestens 5 – 20 kg zu entnehmender Mindestprobenmenge verwiesen. Dadurch soll der Einfluss der heterogenen Explosivstoffverteilung auf die Probe verringert werden.

Anhand modellhafter Erkundungen zweier Standorten wurden unterschiedliche Untersuchungsstrategien getestet. Diese zielten auf Elutionsverfahren ab. Bei unterschiedlichen Probenmengen (bis zu 7 m³ Containerelutionswannen) kam man auf unterschiedliche Konzentrationen. Es konnten keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen Probenmenge und Elutionsmethodik festgestellt werden. Das wurde auf die Heterogenität der Sprengstoffverteilung im Boden und damit im Probenmaterial zurückgeführt. Dieser Effekt ließ sich trotz sorgfältiger Homogenisierung und Variation des Elutionsverfahrens beseitigen.

Es wird abschließend betont:

„Die Untersuchung der Originalsubstanz mittels Methanolextrakt (ME) zur Emissionsabschätzung für den Pfad Boden–Grundwasser ist als Untersuchungsmethode zur

Feststellung von Belastungen der Originalsubstanz auf Sprengplätzen nur bedingt geeignet und nur unter Vorbehalt zu empfehlen. Für zukünftige Untersuchungen werden deshalb bis auf weiteres Eluatverfahren befürwortet. Allerdings kann der Methanolextrakt – trotz der erkannten Anfälligkeiten – bei Proben aus dem Auswurfbereich und bei unverfüllten Sprengtrichtern für die Beurteilung des Pfads Boden–Mensch Anwendung finden.

Da sich das DEV-S4-Elutionsverfahren bisher in der konventionellen Altlastenbearbeitung bewährt hat und die Vorgehensweise festgelegt ist, wird das S4 bis auf weiteres zur Anwendung empfohlen. Mittels S4-Eluat kann die maximal freisetzbare Schadstoffmenge (ausgedrückt in μg pro kg Boden) gut abgeschätzt werden. Für Rückschlüsse auf die Sickerwasserkonzentration am Ort der Probennahme sind mit dem S4-Eluat allerdings eher Minder- als Mehrbefunde zu erwarten. Darüber hinaus ist das S4-Eluat auf Grund der relativ kleinen Analysenmenge von im Regelfall 100 g insbesondere bei bindigen Böden anfällig für Heterogenität. Es erscheint sinnvoll, in Ergänzung zu DEV-S4-Eluaten auch Wanneneeluat durchzuführen, da es durch sein engeres Mischungsverhältnis den natürlichen Verhältnissen deutlich näher kommt und aufgrund der großen Probenmenge weniger anfällig gegenüber der heterogenen Schadstoffverteilung ist.“

Auch die Erfahrungen des BMBF-Verbundvorhabens „KORA“ [A. Joos et. Al., 10/2008] haben gezeigt, dass das Verhalten der STV in Böden nicht zu vergleichen ist mit frisch dotierten Böden.

Übereinstimmend wird in der Literatur festgestellt, dass die inhomogene Verteilung der STV im Feld die größte Herausforderung an die Beurteilung der Flächen darstellt und den Fehler der chemischen Analytik um Größenordnungen dominiert.

Die Untersuchungen im Rahmen der Dissertation von [Trommsdorf, 2007] u. a. zur Alterung und zur Empfindlichkeit/Explosivität von Fundsprengstoffen weisen auf ein hohes arbeitssicherheitstechnisches Risiko bei der Probennahme hin. Er wies nach, dass insbesondere TNT über lange Zeiträume und sogar unter ungünstigen Umweltbedingungen kaum Alterungseffekte aufweist. Zusätzlich führen bei TNT-Stücken bereits geringe Verunreinigungen und Zersetzungserscheinungen an der Oberfläche zu einer starken Erhöhung der Schlagempfindlichkeit. Die Einwirkung des umgebenden Bodenmaterials hat besonders extremen Einfluss auf die Schlagempfindlichkeit von TNT. Es wurde im Einzelfall eine fünffach erhöhte Schlagempfindlichkeit an der Oberfläche des Fundsprengstoffes im Vergleich zu technisch reinem TNT nachgewiesen. Weitere Versuchsreihen beinhalteten die Wechselwirkungen von Boden und Sprengstoff. Die Prüfung der Wechselwirkung zwischen Quarzsand und Sprengstoff ergaben im Unterschied zu technisch reinem TNT, dass es sich bei TNT-haltigen Fundsprengstoffen um schlagempfindliche Explosivstoffe handelt. Verunreinigte TNT-Brocken können bereits durch geringe mechanische Beanspruchungen zur Detonation gebracht werden. Trommsdorf weist ausdrücklich darauf hin, dass die

Problematik der TNT-haltigen Fundsprengstoffe sich in den nächsten Jahrzehnten oder Jahrhunderten nicht selbständig löst. TNT zeigt auch nach 60 Jahren im direkten Kontakt mit dem Boden keinerlei Alterungserscheinungen in Form der Abnahme seiner gefährlichen Explosivstoffeigenschaften.

3 Relevante Explosivstoffe und deren Eigenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Probennahme

3.1 Allgemeines zu Explosivstoffen

Explosivstoffe bestehen aus festen oder flüssigen chemischen Verbindungen, die sich nach ihrer Zündung in Gas- und Schwadenform unter Freisetzung von Wärme großvolumig sehr schnell ausdehnen. Sie können als homogene Stoffe oder als Stoffgemische eingesetzt werden. Man unterscheidet im zivilen und militärischen Bereich Sprengstoffe, Treibstoffe (Treibladungspulver), Zündstoffe (Initialsprengstoffe), Anzündstoffe und pyrotechnische Sätze (Abbildung 1).

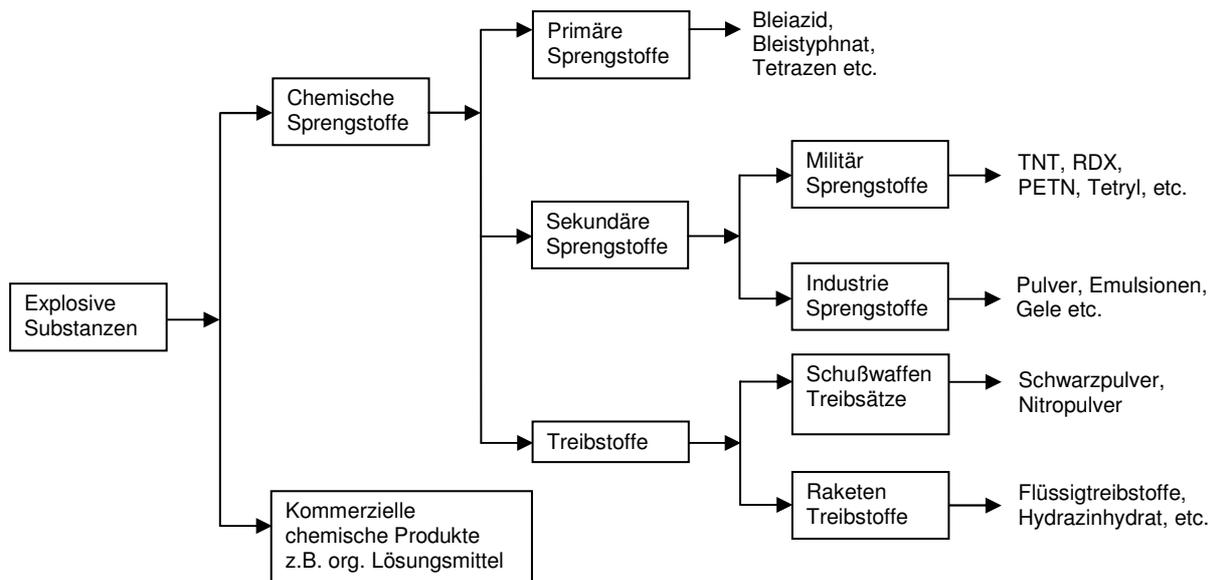


Abbildung 1: Ergänzter Überblick über explosive Substanzen mit Beispielen nach Trommsdorf (Vortrag bei der DCHAB Schweiz)

Die in dieser Arbeit für die Probennahme als relevant ausgewählten Explosivstoffe sind die Sprengstoffe, die als reine Sprengstoffe oder als Sprengstoffgemische angewendet wurden und werden. Durch die Mischung von Explosivstoffen untereinander und auch mit anderen Stoffen steuert man gezielt die Eigenschaften des Produktes.

So kann man unter anderem die Brisanz (Zertrümmerungseffekt), Empfindlichkeit (z. B. Schlag- und Reibempfindlichkeit) und die Detonationsgeschwindigkeit (Fortschritt der Detonation im Sprengstoff) beeinflussen. Die Phlegmatisierung dient der Beeinflussung der Kenndaten kristalliner Explosivstoffe wie Beschuss-, Schlag-, Reibempfindlichkeit. Man hat auch aus der Ressourcennot heraus zum Ende des zweiten Weltkrieges Sprengstoffe für Granaten mit TNT-Sägespäne- oder Sandmischungen gestreckt.

Wichtige gewünschte Eigenschaften sind die Sprengwirksamkeit, die Funktions-, die Handhabungs- und die Transportsicherheit. Die physikalisch geprägten Zwecke von Sprengstoffen ließen bis vor wenigen Jahren keinen Raum für Überlegungen über die stofflichen Eigenschaften bezogen auf den Menschen und die Umwelt. Themen wie die Treibhausrelevanz der Umsetzungsprodukte, die das mehr als tausendfache des Kohlendioxids haben können [Umweltbundesamt, 2009, Schwarz, Krebs, 2009], spielen in der öffentlichen politischen Diskussion überhaupt keine Rolle.

3.2 Stoffliche Eigenschaften und deren Stabilität, Explosibilität und Toxizität bei der Probennahme

Im Folgenden werden durch die Produktion, die Lagerung, den Einsatz und die Beseitigung häufig in den Böden, in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser gelangte Sprengstoffe sowie ausgewählte Metabolite davon beschrieben. Sie sollen auch beispielhaft für andere Sprengstoffe bezogen auf die probennahmerelevanten Eigenschaften sein.

Eine große Bedeutung im Umweltverhalten von Sprengstoffen ist deren Löslichkeit und damit deren Mobilität, die durch die Adsorptionsfähigkeit wieder eingeschränkt werden kann, deren biotische, abiotische und photolytische Abbaubarkeit. Die Flüchtigkeit spielt besonders bei den Ausgangsstoffen und Produktionsrückständen der Sprengstoffe eine wichtige Rolle im Umweltverhalten. Diese Eigenschaften sind nicht nur wichtig bei der Planung der Probennahme, sondern auch bei der Entnahme der Proben und deren Verpackung.

Man kann im Wesentlichen zwei Probennahmemedien betrachten. Es handelt sich um den Boden, in dem die eingetragenen Sprengstoffe zu finden sind und das Grundwasser, in das diese Sprengstoffe und deren Abbauprodukte gelangt sind. Aus den Erfahrungen der Bearbeitung von Sprengstoffwerken, Übungs-, Schieß-, Sprengplätzen, bombardierten Großstätten usw. sind standorttypische Besonderheiten und oft unerklärliche Phänomene im Vorkommen und Austragsverhalten von STV zu beobachten. Sehr problematisch sind die durch Detonation bzw. durch Deflagration entstandenen unterschiedlich großen Sprengstoffpartikel bis zu Sprengstoffbrocken (Abbildung 2).



Abbildung 2: Zwei TNT- Brocken je 20 x 20 x 10 cm aus dem Umfeld einer gesprengten Kühlschikane eines Sprengstoffwerkes

Die Ursachen für Brocken und Bröckchenbildungen bei Sprengstoffen können aber auch andere sein, wie die folgenden Abbildungen 3 bis 7 zeigen.



Abbildung 3: Probennahme von TNT- Brocken aus Abwasserschlämmen



Abbildung 4: Auskristallisiertes TNT unter einer Produktionsanlage

Abbildung 5: Vermutlich Gießrückstände aus TNT



Abbildung 6: Kristalline TNT Schlämme

Abbildung 7: Pulverartige Substanz mit > 80 % TNT Anteil in einer Entwässerungsleitung einer Munitionsfüllstelle



Für die Repräsentanz der Probennahme sind die kleinen partikulären Bröckchen von großer Bedeutung. Wenn von den 1 bis 2 kg Bodenprobe nur 10 g für die Analytik benötigt werden, summiert sich die Unsicherheit der Probennahme mit der Unsicherheit der Probenvorbereitung im Labor. Die folgenden mikroskopischen Aufnahmen (Abbildung 8, 9, 10) verdeutlichen dies.

Abbildung 8: TNT-Kristall im Mittelsand



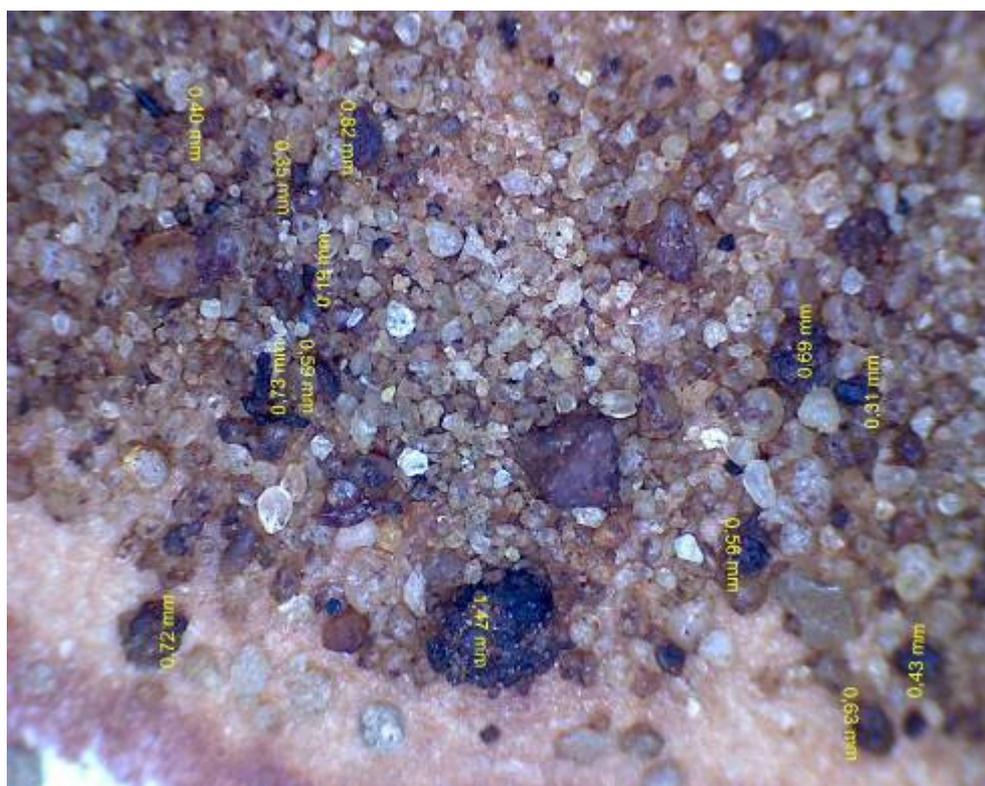


Abbildung 09: Gefärbte TNT-Bröckchen im Boden mit hoher Dichte (um 20 g/kg TM)



Abbildung 10: Mit Sand „verbackenes“ TNT, z. B. nach Schmelze oder Auskristallisation

Diesen Inhomogenitäten versucht man durch „Wanneneluat“ [Schwendner, 2010] und bei Feststoff durch Mahlen und Homogenisieren entgegenzuwirken.

Das folgende Beispiel (Abbildung 11) verdeutlicht die Inhomogenität der Sprengstoffbelastung im Boden einer diffusen starken Eintragsquelle. Es handelte sich um eine nach dem zweiten Weltkrieg gesprengte TNT-Produktionsanlage.

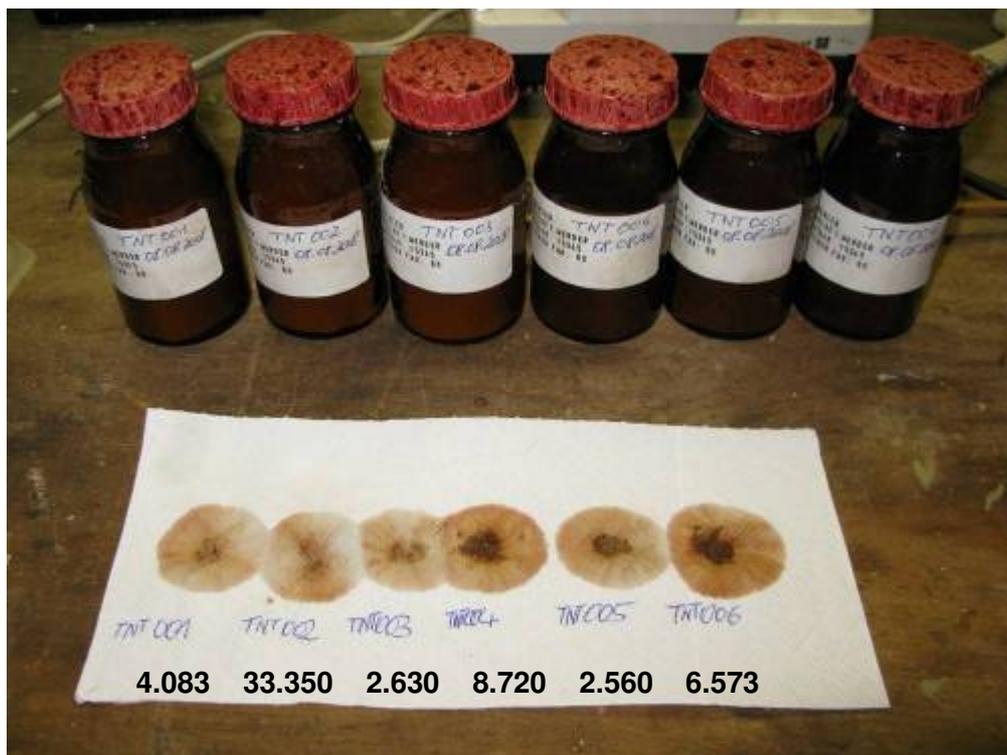


Abbildung 11: Proben aus dem Aushubareal einer Sprengstofffabrik mit „TNT-Schnelltest“ (s. Abschn. 5.4) geprüft und Laboruntersuchungsergebnissen in mg/kg TM

Die Abbildung 12 zeigt, dass sich mit einer Pflugscharmischanlage die Proben gut homogenisieren lassen. Es handelt sich aber um einen hohen apparativen Aufwand. Durch das Einfärben mit dem „TNT Schnelltest“ lässt sich bereits der Erfolg der Homogenisierung erkennen.

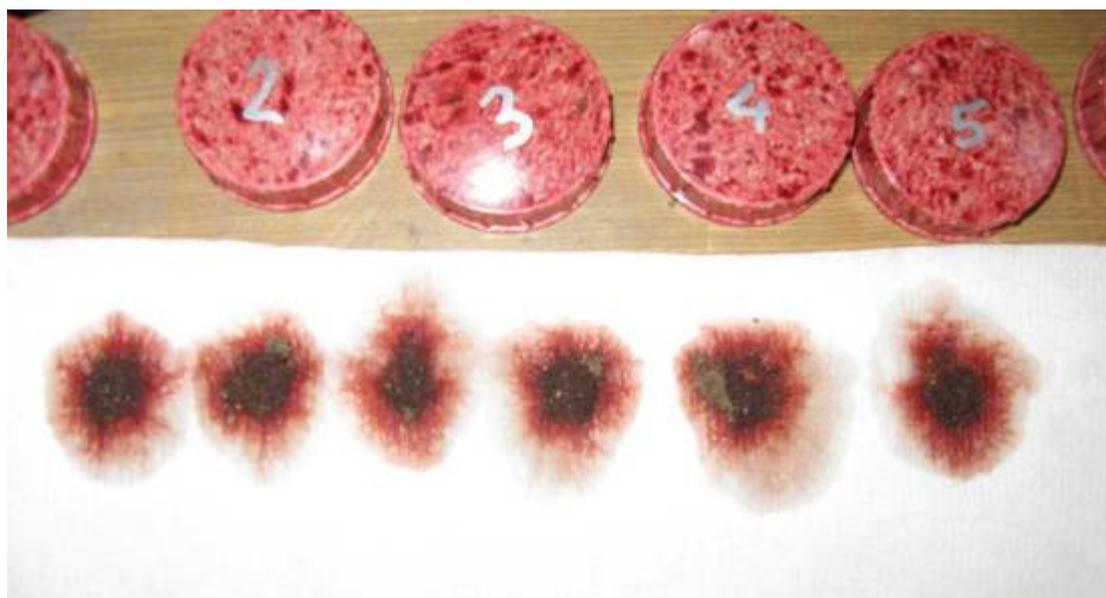


Abbildung 12: Mittels Pflugscharmischanlage homogenisiertes Probenmaterial aus den Haufwerken der vorhergehenden Proben

Durch einfaches Homogenisieren, wie z. B. mittels fraktionierenden Schaufelns, Riffelteiler, Teilkreuz usw. lässt sich keine ausreichende Homogenität der Probe bewirken. Die Abbildung 13 verdeutlicht, dass trotz intensiven Mischens von 20 kg Probenmaterial in einer Mörtelwanne der TNT-Schnelltest unterschiedlich anschlägt.



Farbwerte rot:

126

156

166

167

172

142

Abbildung 13: Ergebnisse des „TNT Schnelltests“ von Einzelproben aus von Hand gut durchmischten Probenmaterial

Die Farbwerte „Rot“ wurden als Durchschnittswert mit Adobe Photoshop Elements gemessen. Dieser Versuch verdeutlicht bereits eine maximale Schwankung der Werte von 27 %.

Die Messunsicherheit der Probennahme von 27 % trifft nur auf dieses exemplarische Beispiel zu und darf nicht verallgemeinert werden. Sie zeigt aber deutlich, dass sich die Sprengstoffpartikel und Sprengstoffklümpchen auch nicht in größeren Sammelproben vor Ort homogenisieren lassen. Deshalb ist es zwingend notwendig, die Probe vor Ort mit geeigneten Vor-Ort-Messmethoden und Schnelltests zu optimieren.

Nach Auswertung der Datenbank des Bundes über die Belastung der ehemaligen Liegenschaften der alliierten Truppen ist festzustellen, dass die meisten Kontaminationen mit den STV Trinitrotoluol (TNT), dessen Abbauprodukte, den Aminodinitrotoluolen (ADNT) und Hexogen (RDX) sind. Dabei stellt Hexogen oft das Hauptproblem bezogen auf das Grundwasser dar.

Auch die übrigen STV werden mehr oder weniger mit dem versickernden Niederschlagswasser über lange Zeiträume durch Lösungsprozesse in das Grundwasser verfrachtet. Einige Nitroaromaten werden aber auch irreversibel an Huminstoffe in Boden fest gebunden. Dieser Effekt und das Bindungsvermögen an Tonminerale, Oxide und Hydroxide wurden u. a. im KORA – Projekt [Joos, 2008] untersucht. Letztere Rückhalteeffekte sind unter bestimmten Umständen (z. B. aerobe Verhältnisse) reversibel.

Für die Probennahme ist auch relevant, dass STV durch Photolyse abgebaut werden können. Es ist bei der Probennahme ein allgemein geforderter Grundsatz, Proben immer sofort lichtgeschützt, gekühlt und luftdicht verschlossen umgehend dem Labor zuzuführen. Proben dürfen nicht dem prallen Sonnenlicht ausgesetzt werden.

Die Gasdrücke der Sprengstoffe und ggf. deren Abbauprodukten sind sehr niedrig. Daraus ergeben sich nicht nur Vorteile bei der Probennahme, sondern besonders bei der Detektion von Sprengstoffen Probleme. In der Bodenluft sind diese nur über spezielle Mobilisierungsmethoden detektierbar. So werden Proben im Rahmen der Vor-Ort-Analytik aufgeheizt, um STV zum Teil in die Gasphase zu überführen und dann z. B. mittels Ionenmobilitätsspektrometer zu messen.

Im Gegensatz zu den Sprengstoffen selbst sind viele Ausgangsstoffe und Halbprodukte bei der Sprengstoffherstellung klassische leichtflüchtige Verbindungen und müssen bei der Probennahme entsprechend behandelt werden.

An Sprengstoffe werden bezogen auf ihren Einsatzzweck neben der Anforderung nach ihrer Zündung mit bestimmten Energiefreisetzungen und Geschwindigkeiten zu detonieren auch andere wichtige Anforderungen gestellt. Sie müssen u. a. lange lagerfähig (chemisch sehr stabil), unempfindlich gegenüber Nässe (möglichst unlöslich) und handhabungssicher sein. Durch Umwelteinwirkungen sind diese Eigenschaften nicht mehr im vollen Umfang gegeben. So kann es durch die Bildung von Abbauprodukten zur Erhöhung der Detonationsempfindlichkeit, der Verminderung der chemischen Stabilität und damit der Erhöhung der Löslichkeit kommen.

Die Toxizität und Kanzerogenität erhöht sich ebenfalls bei den meisten Sprengstoffabbauprodukten [IFA, 1996]. Somit ist neben dem Schutz des Probenmaterials bezüglich seiner Stabilität bis zur Analyse auch von großer Bedeutung, den Probenehmer gegen Explosion und Vergiftung zu schützen. In der Tabelle 1 wird dargestellt, welche Schlag- und Reibeenergien sowie Temperaturen bei der Probennahme im sprengstoffbelasteten Bereich bedeutsam sind.

Tabelle 1: Liste der in militärischen Altlasten häufigen STV und einige probennahmerelevante Eigenschaften im Vergleich zu auftretenden Energien, die bei Sondierungen auf den Boden wirken können [Köhler, 2008, DIN EN ISO 22476:2009, Rücksprache mit Ingenieuren der FUGRO, 2010]

Sprengstoffe und Vergleichslastfälle für Sondierungen	Schlagempfindlichkeit [kp m]	Reibempfindlichkeit [N Stiffbelastung]	Verpuffungspunkt [°C]	Detonationsgeschwindigkeit [m/s]
Nitropenta	0,3	60	202	8400
Tetryl	0,3	359	185	7850
Hexogen	0,75	120	230	8750
Trinitrobenzol	0,75	359		7300
Trinitrotoluol	1,5	359	300	6900
Dinitrobenzol	4	359	291	6100
Rammsondiergerät DPL (leicht)	5			
Rammsondiergerät DPM (mittel)	15			
Rammsondiergerät DPH (schwer)	25			
Drucksondierung sehr lockerer Boden		< 2,5 N/mm ²		
Drucksondierung lockerer Boden		2,5 - 7,5 N/mm ²		
Drucksondierung mitteldichter Boden		7,5 - 15 N/mm ²		
Drucksondierung dichter Boden		15 - 25 N/mm ²		
Drucksondierung sehr dichter Boden		> 25 N/mm ²		

Bei der Probennahme werden zur Gewinnung der Proben, insbesondere bei der Sondierung hohe Energiemengen in den Boden eingeleitet. Diese Energien wirken auf das Bohrgut. Es sind vorwiegend Druck- und Reibkräfte. Untersuchungen zu den Schlag- bzw. Druckenergien an der Bohrkronen von Rammkernsonden oder Bohrschnecken, möglichen Reibkräften an und in der Sonde wurden noch nicht geführt. Als Vergleichskräfte können aber aus der DIN EN ISO 22476 – Rammsondierung Energieabgaben an der Sondenspitze herangezogen werden. Handsondierungen, z. B. mittels Bohrstock, Schlitzsonde und Hammer sind mit der Energieabgabe der leichten Rammsonde vergleichbar. Je nach Gerät sind die Rammkernsondierungen energetisch ähnlich der mittleren und schweren Rammsondierung. Hier wird eine konische Stahlspitze und keine ringförmige Schneide wie bei der Rammkernsondierung in den Boden gerammt. Je nach dem wie scharf die Schneide der Bohrkronen ist, je höher ist die Energie, die auf die Probe abgetragen wird. Die Werte können also bei der Rammkernsonde viel höher sein, als bei beim Rammsondiergerät.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) hat zur Ermittlung der Schlagempfindlichkeit von Sprengstoffen ein Fallhammerverfahren entwickelt [Köhler, 2008]. Die Probe wird in eine Stempelinrichtung eingebaut. Auf die Stempelinrichtung wird aus einer bestimmten Höhe ein Fallgewicht mit einer bestimmten Masse fallen gelassen. Die Fallhöhe und das Gewicht sind veränderbar, um so die Schlagenergie in kJ m^{-3} zu ermitteln. Es wird die niedrigste Schlagenergie angegeben, bei der unter sechs Versuchen es mindestens einmal zur Explosion kommt. Umgerechnet auf die Rammsondiergeräte mit ihren Gewichten und Fallhöhen könnte man alle in Tabelle 1 aufgeführten Explosivstoffe zur Detonation bringen. In der Praxis ist das, wie eigene Erfahrungen zeigten, nicht immer so. Wenn im Bohrgut Sprengstoffbrocken gefunden werden, sollten die Sondierungen in jedem Falle eingestellt werden. Die Bohrungen könnten nur unter besonderen Schutzvorkehrungen weitergeführt werden. Dazu gehören z. B. ferngesteuerte Bohrungen im Schneckenbohrverfahren.

In Tabelle 01 werden auch Detonationsgeschwindigkeiten angegeben. Es ist die Geschwindigkeit, in welcher sich die Detonation in einem Sprengstoff fortsetzt. Um so höher die Detonationsgeschwindigkeit ist, um so höher ist die Schlagkraft des Sprengstoffs und die Übertragungsmöglichkeit, z. B. von Sprengstoffbrocken zu Sprengstoffbrocken in Böden oder von Probe zu Probe in der Kühlbox.

Darüber hinaus hat die BAM auch einen Apparat entwickelt, um die Reibempfindlichkeit von Sprengstoffen zu ermitteln. In der Reibeapparatur wird die Probe auf ein eingespanntes Porzellanplättchen aufgegeben. Auf diesem Plättchen mit der Sprengstoffprobe wird ein zylindrischer Porzellanstift mit kugelige rauer Endfläche mit einem Druckarm positioniert.

Die Stiftbelastung kann über den Druckarm verändert werden. Das Porzellanplättchen wird in Hin- und Rückbewegung versetzt (10 mm Länge). Als niedrigste Stiftbelastung in N gilt, wenn unter sechs Versuchen es mindestens einmal zur Entflammung, zum Knistern oder zur Explosion kam.

Der Versuch ist als Vergleichsannahme für das Reiben des Bohrgutes an den Wänden und an der Schneide der Rammkernsonde oder am Bohrkopf des Schneckenbohrers möglich. Zahlenangaben zu Reibkräften bei Rammkernsondierungen fehlen ebenfalls in der Literatur. Der Spitzen und Manteldruck bei der Drucksondierung, z. B. bei der FUGRO-Technologie, ist mit denen von Rammkernsondierungen vergleichbar. Es wird bei der Drucksondierung ein Gestänge mit 36 mm Durchmesser und einer Querschnittsfläche am Sondenkopf von 10 mm^2 mit ca. 2 cm/s in den Untergrund gedrückt. Dabei werden kontinuierlich der Spitzendruck und die Mantelreibung gemessen. Man kann die von der FUGRO im Internet und in Vorträgen veröffentlichten Werte in N/mm^2 nach Rücksprache mit Ingenieuren der FUGRO als Vergleichswert für die Stiftbelastung nutzen. Demnach sind die Ergebnisse so, dass man durch die Reibungskräfte an der Rammkernsonde die in Tabelle 1

aufgeführten Sprengstoffe nicht zur Umsetzung bringen kann. Bei Reibungskräften durch rotierende Bohrverfahren ist dies aber mit Sicherheit gegeben. Insbesondere dann, wenn sich die Bohrkronen zusätzlich z. B. auf Steinen oder Blöcken erhitzen. Das ist der Fall, wenn der Bohrmechaniker, wie oft beobachtet, sehr unpflegerisch mit der Technik umgeht. Bei ferngesteuerten Schneckenbohrungen kommt es ebenfalls aus eigenen Erfahrungen zu wenig „gefühlvollem“ Bohrfortschritt. Zumeist sind die Bohrgeräte mit funkfern gesteuerten Ventilbedienteilen zeitweilig nachgerüstet worden. Diese öffnen und schließen sehr hart. Weiterhin sieht man nicht die Öldruckanzeige, die ein Zeichen für die Maschinenbelastung ist. So kann es zur Erhitzung der Bohrkronen kommen und die in Tabelle 1 angegebenen Temperaturen der Verpuffungspunkte der Sprengstoffe können überschritten werden.

In der Eisenbahnverkehrsordnung [EVO, 2009] wurde auch die Entzündung und Explosionsauslösung von Transportgütern, insbesondere Sprengstoffen berücksichtigt. Dazu sind diese vor der Genehmigung des Transportes zu testen. Eine kleine Sprengstoffprobe wird in einem Probierglas durch Erhitzen von Außen zur Entflammung, Verpuffung bis hin zur Explosion gebracht. Vergleichsdaten zu mit sprengstofftypischen Verbindungen belasteten Böden lagen dem diesbezüglich im Jahre 2010 befragten Bahn-Umweltzentrum leider nicht vor.

Die in Tabelle 1 verdeutlichten Gefahren müssen unbedingt bei der Probennahmeplanung und bei der Probennahmedurchführung Berücksichtigung finden. Insbesondere beim Fund von Sprengstoffpartikeln und Brocken im Bohrgut sind die Probennahmetechnologie und die Erfüllung der Festlegungen des Sprengstoffgesetzes (SprengG) für den Umgang mit Sprengstoffen umgehend zu prüfen.

Derzeit werden für eine Aufnahme in die BBodSchV folgende prioritäre STV diskutiert [Terytze, 2010]:

2,4 – Dinitrotoluol (2,4-DNT)	2,6 – Dinitrotoluol (2,6-DNT)
2,4,6 – Trinitrotoluol (2,4,6-TNT)	Hexanitrodiphenylamin (Hexyl)
Hexogen (RDX)	Nitropenta (PETN)

Zur Bestimmung von STV in Böden wird derzeit intensiv an einem entsprechenden Normentwurf gearbeitet, sowohl auf nationaler (DIN NAW 119-01-02-02-UA „Abfall- und Bodenuntersuchungen – Chemische und physikalische Verfahren“, AK 53 „Sprengstofftypische Verbindungen“) als auch internationaler Ebene (ISO/TC 190/SC 3/WG 11 Explosive compounds). Es liegen bereits erste Entwürfe eines entsprechenden Verfahrens vor.

Neben dieser Anforderung mit Hinblick auf die BBodSchV muss berücksichtigt werden, dass das Substanzspektrum auf sprengstoffbelasteten Liegenschaften noch deutlich über diese 6 STV hinaus geht. Derzeit wird z.B. für die GC-Analytik der Normung im DIN-AK 53 intern eine Liste diskutiert (Tabelle 2):

Tabelle 2: Liste der STV für die GC-Analytik der Normung im DIN-AK 53

Analyte	Abbreviation	CAS No.
2-Mononitrotoluene	2-MNT	88-72-2
3-Mononitrotoluene	3-MNT	99-08-1
4-Mononitrotoluene	4-MNT	99-99-0
2,4-Dinitrotoluene	2,4-DNT	121-14-2
2,6-Dinitrotoluene	2,6-DNT	606-20-2
3,4-Dinitrotoluene	3,4-DNT	610-39-9
2,4,6-Trinitrotoluene	2,4,6-TNT	118-96-7
1,3,5-Trinitrobenzene	1,3,5-TNB	99-35-4
4-Amino-2,6-dinitrotoluene	4-A-2,6-DNT	1946-51-0
2-Amino-4, 6-dinitrotoluene	2-A-4,6-DNT	35572-78-2

In den Entwurf der Novellierung der BBodSchV unter Punkt 1.4 Prüfwerte wurden folgende Prüfwerte für STV aufgenommen (Tabelle 3):

Tabelle 3: STV-Prüfwerte in der Novellierung der BBodSchV (Stand Dezember 2010)

Stoff	Prüfwerte [mg/kg TM]			
	Kinder-spiel-flächen	Wohn-gebiete	Park- u. Freizeit-anlagen	Industrie- und Gewer-begrund-stücke
2,4- Dinitrotoluol	3	6	15	30
2,6- Dinitrotoluol	0,2	0,4	1	5
Hexanitro-di-phenylamin	150	300	750	1500
Hexogen	100	200	500	500
Nitropenta (PETN)	500	1000	2500	5000
2,4,6-Trinitrotoluol	20	40	100	200

Im folgenden werden eine Auswahl häufiger bei Boden- und Grundwasserkontaminationen anzutreffender Sprengstoffe und Sprengstoffabbauprodukte unter dem Blickwinkel der Probennahme beschrieben.

2,4,6-Trinitrotoluol TNT

Aufgrund seiner guten Brisanz, sicheren Handhabbarkeit und seiner Massenproduktionsfähigkeit ist TNT seit dem ersten Weltkrieg der am meisten benutzte militärische Sprengstoff. Er lässt sich bei 80 °C gut gießen und damit in alle möglichen Geschosse füllen. Beim gegossenen TNT reicht aber eine Zündkapsel zum Zünden nicht aus. Deshalb ist eine gepresste Verstärkerladung notwendig. TNT ist nahezu wasserunlöslich, schwer brennbar, hat einen sehr niedrigen Dampfdruck und ist giftig.

In Munition ist TNT fast unbegrenzt chemisch stabil.

An stückigen und partikulären TNT im Boden oder unter freiem Himmel laufen nur an der unmittelbaren Oberfläche Verwitterungs- und Abbauprozesse ab.

Die Adsorption, der biotische und abiotische Abbau von TNT wurde im KORA Projekt [Joos, 2008] intensiv untersucht.

Die Adsorption im Boden ist im starken Maße vom Ton- und Humusgehalt abhängig. An Humus (organischer Kohlenstoff oder Huminsäuren) wird TNT fast irreversibel adsorbiert [Clausen, J. L. et al., 2006].

Insbesondere in gelöster Form bildet TNT unter Einwirkung von Sonnenlicht Umwandlungsprodukte und baut sich schnell ab (Abbildung 14). Deshalb sollten Proben schnellstmöglich dunkel gestellt werden. Die Halbwertszeit kann unter Umständen nur Stunden betragen. Mit dem photolytischen Abbau nimmt die Toxizität der Abbauprodukte zu. In der Abbaukette entstehen hauptsächlich TNB-Metabolite (Trinitrobenzaldehyd und Trinitrobenzoesäure). Im KORA-Projekt bei [Hund-Rinke, K., 2008] wird deshalb empfohlen, die LAWA Geringfügigkeitsschwelle für TNB heraufzusetzen (bisher 100 µg/l).

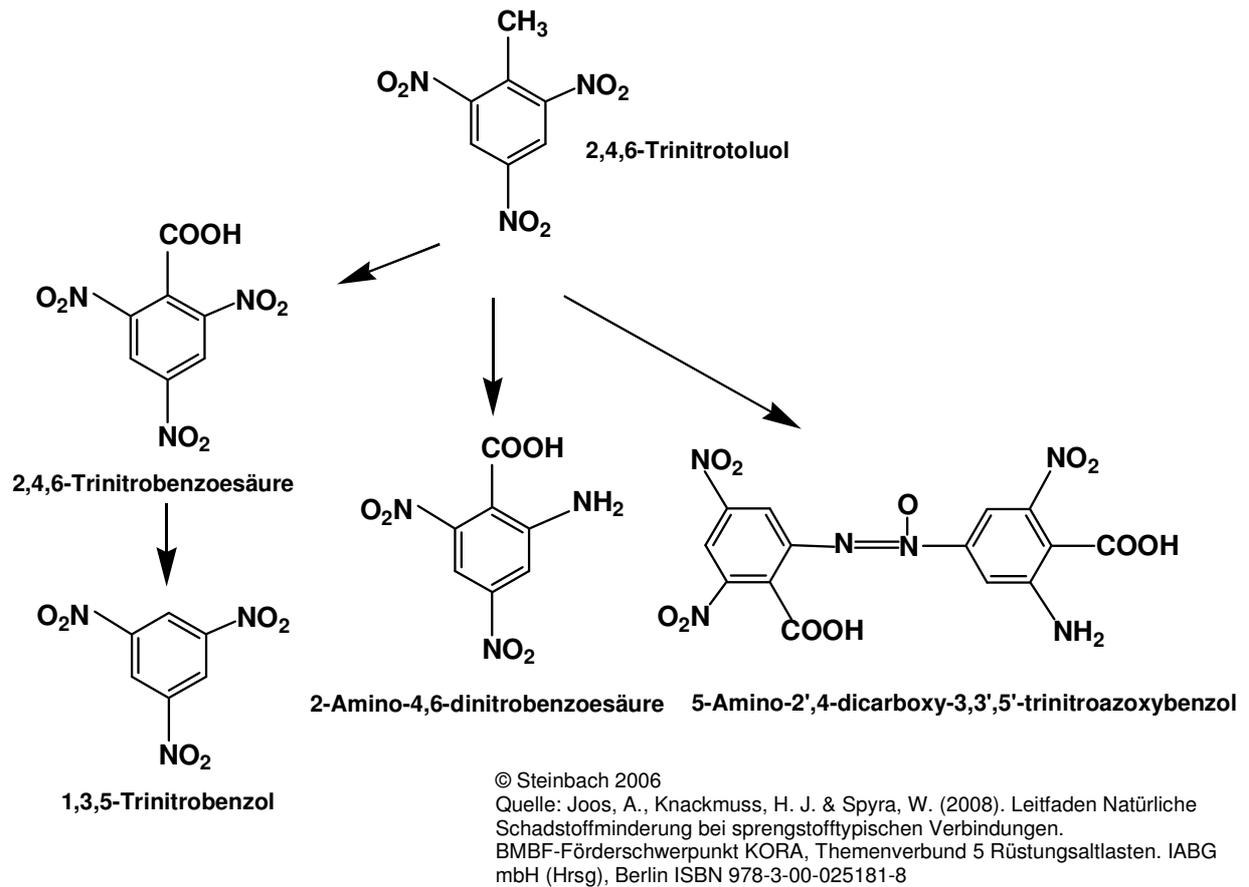


Abbildung 14: Lichtinduzierte Transformation von 2,4,6-TNT in Oberflächengewässern

Der biotische Abbau von TNT verläuft langsamer als der photolytische. Er erfolgt unter natürlichen Bedingungen vorwiegend von bereits gelöstem TNT bei relativ niedrigen Konzentrationen und pH-Werten über 7. Mit steigenden TNT- und TNT-Abbauproduktgehalten kommt es zur Verminderung der biologischen Aktivität durch Vergiftung der Mikroorganismen [Mulisch, H. M. et al., 2008]. Der biologische Abbau endet in den meisten Fällen bei 4-ADNT (Abbildung 15).

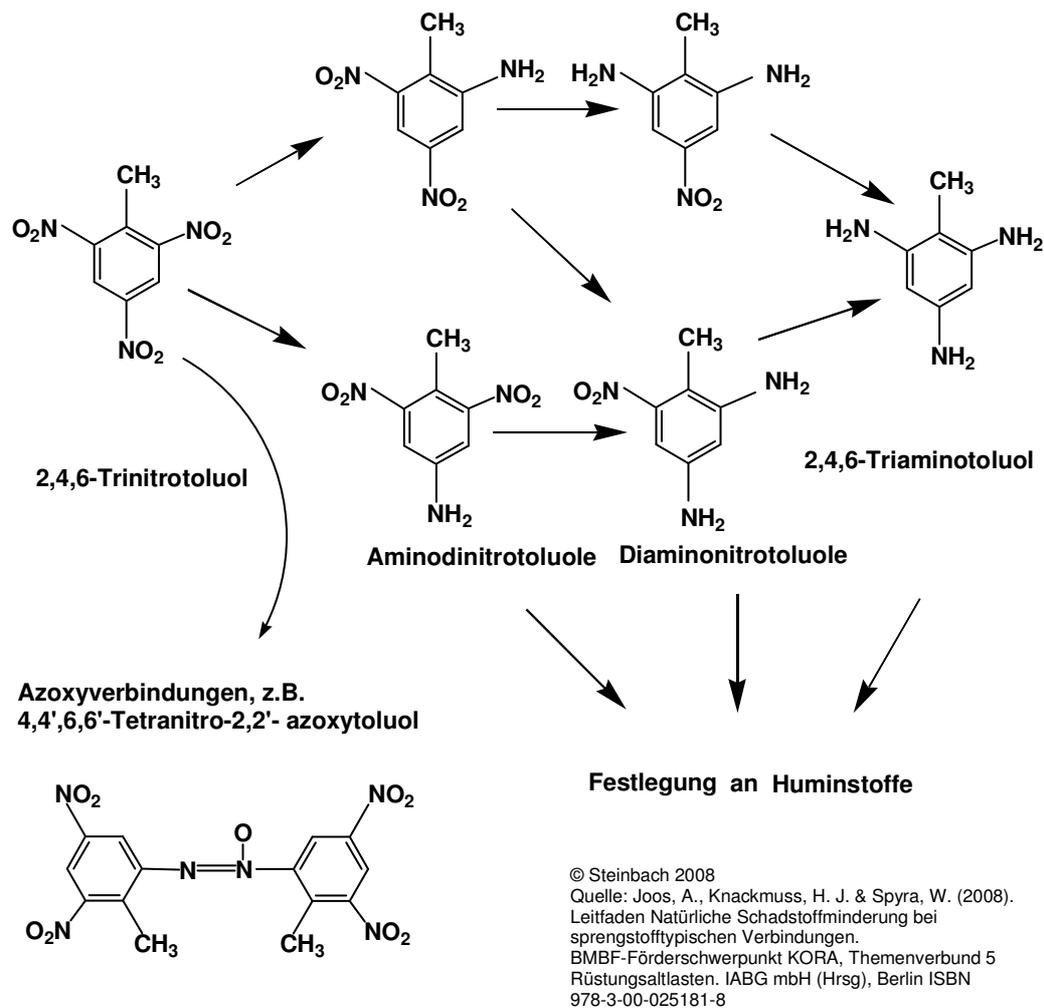


Abbildung 15: Wesentliche mikrobielle Transformationswege des TNT in der ungesättigten Zone

In der Tabelle 4 sind ausgewählte Stoffeigenschaften dargestellt.

Tabelle 4: Stoffeigenschaften von TNT

Dichte	1,654 g/cm ³	
Schmelzpunkt	80,1 °C	
Wasserlöslichkeit	bei	[mg/l]
	0 °C	100
	10 °C	110
	15 °C	120
	20 °C	130
	25 °C	150

Die Abbildung 16 zeigt auskristallisiertes TNT, was in einem stillgelegten Sprengstoffwerk gefunden wurde.

Auf Truppenübungsplätzen und Sprengplätzen kann man gegossene TNT-Stücken finden, die z. B. aus „Zerschellern“ (beim Einschlagen zerbrochen ohne zu deponieren) oder angesprengten Granaten stammen (Abbildung 17).



Abbildung 16: TNT auskristallisiert (mikroskopisch von Bodenfund im Sprengstoffwerk)

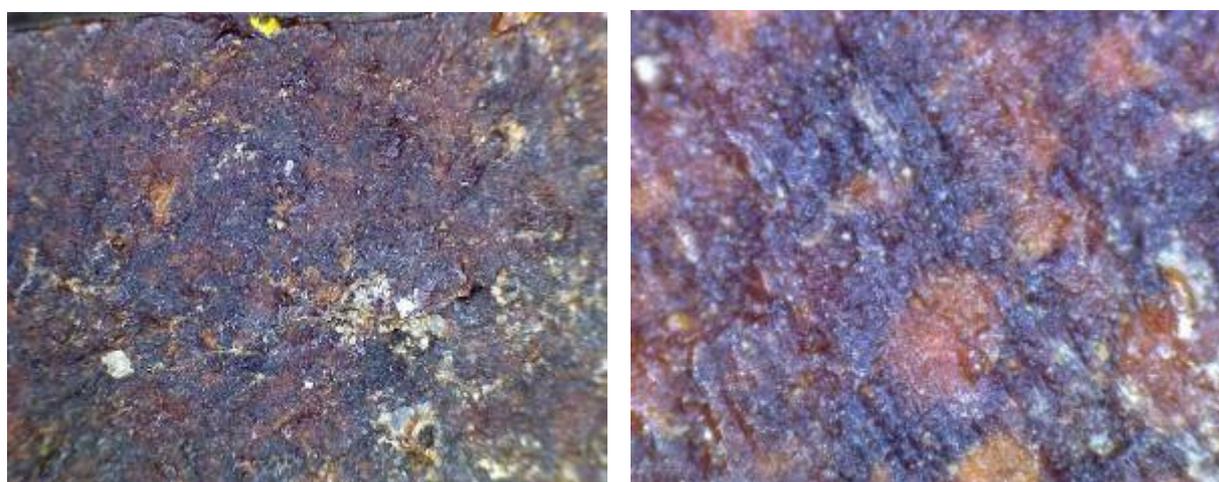


Abbildung 17: TNT gegossen (mikroskopisch aus zerschellten Granaten)

Amino- und Diaminonitrotoluole (ADNT/DANT)

Die meisten Abbauprodukte vom TNT (vorwiegend 2-ADNT, 4-ADNT, 2,4-DANT und 2,6-DANT) sind wasserlöslicher und damit mobiler als das TNT. Sie liegen im Abbauprozess in Lösung vor. Zur Wasserlöslichkeit und zur Adsorption von TNT-Abbauprodukten liegen bisher nur wenige wissenschaftlich gesicherte Daten, wie z. B. aus dem schon erwähnten

KORA- Projekt vor. Für die Stabilisierung von Proben für längere Lagerungen (z. B. als Vergleichstestmaterial) kann eine Lufttrocknung der Proben empfohlen werden.

ADNT-Metabolite können irreversibel an Huminstoffe und Ton gebunden werden. Diese Bindungsprozesse sind nicht vollständig. Damit ist neben gebundenen auch von ungebundenen, mobilisierbaren TNT mit ADNT-Metaboliten im Boden auszugehen [Clausen, J. L. et al., 2006].

Es wird in [Schwendner, 2010] darauf hingewiesen, dass auch durch die Elution TNT-haltiger Böden, Metabolite entstehen können.

Trinitrobenzol (TNB)

TNB entsteht als Abbauprodukt aus TNT durch Photolyse und mikrobiologisch mit Zwischenstufe Trinitrobenzoesäure. TNB wird photolytisch nicht weiter abgebaut. Mikrobiologisch kann TNB zu DNA, DNB, Nitroanilin, Triaminobenzol, Nitrobenzol und Ammonium abgebaut werden. Insgesamt ist TNB schlecht abbaubar, schlecht adsorbierbar und sehr gut mobilisierbar.

Mononitrosohexogen (MNX), Dinitrosohexogen (DNX), Trinitrosohexogen (TNX) und Hydrazin

MNX, DNX und TNX bilden sich unter anaeroben Bedingungen aus RDX. Bei Schadensfällen liegen die Konzentrationen in der Regel immer unter der des RDX. Bei der Erkundung von RDX-Belastungen fanden MNX, DNX und TNX bisher noch keine große Berücksichtigung. Bei Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass diese RDX-Metabolite stabil sind [Schwendner, 2010].

Hydrazin und Methylhydrazine hat man im Rahmen eines bayerischen Forschungsvorhabens im Grundwasser bei RDX-Schäden untersucht [Nitschke, L., 2004]. Sie entstehen als Metabolite des RDX unter reduktiven Bedingungen. Ihnen wird Kanzerogenität nachgesagt. Bei den analytischen Nachweisverfahren steht man bisher auch noch am Anfang.

MNX, DNX, TNX und Hydrazin sind im Boden und Aquifer stabil und breiten sich gut im Grundwasser aus.

Nitropenta PETN

Bei guter Stabilität und verhältnismäßig geringer Empfindlichkeit des reinen Produktes ist es einer der brisantesten Sprengstoffe. Nitropenta wird für Sprengkapseln und Sprengschnüre verwendet. Außerdem wird es mit Parafin phlegmatisiert als Übertragungsladung eingesetzt. Es dient auch als Geschoßfüllung für Munition kleinerer Kaliber. Die Mischung mit TNT wird Pentryl, Pentrolit, Pentro usw. genannt.

Chemisch gehört PTEN zu den Nitratestern. Seine Löslichkeit von 2,1 mg/l in Wasser ist mit die geringste aller Sprengstoffe. Der Schmelzpunkt liegt bei 140 °C (Tabelle 5). Das Abbauverhalten ist noch nicht intensiv untersucht worden. Das Gefährdungspotential ist aufgrund der geringen Löslichkeit und der hohen Stabilität der Verbindung als gering eingeschätzt worden [Clausen et al., 2006]. Die Ergebnisse aus Untersuchungen des PETN-Standorts Geretsried [Schwendner, 2010] stehen zu dieser Angabe im Widerspruch. Hier hat sich eine extrem hohe Boden- und Grundwasserkontaminationen größtenteils natürlich abgebaut. Es kam zu einer weitgehenden Transformation bzw. Mineralisierung von PENT in Böden und im Grundwasser.

Tabelle 5: Stoffeigenschaften von PETN

Dichte	1,77 g/cm ³
Schmelzpunkt	140 °C
Wasserlöslichkeit	2,1 mg/l

Hexogen RDX

Die Brisanz von Hexogen liegt über der aller üblicherweise eingesetzten militärischen und zivilen Sprengstoffe. Zweckdienlich in Munition ist die große chemische Stabilität für lange Lagerungszeiten. Für Munition setzt man die Empfindlichkeit durch Phlegmatisieren mit Montanwachs herauf. In gepresster Form oder in Schmelzmischungen wird es mit TNT verwendet (Hexolit, Hexozol, Komposition B). Hexogen kommt hauptsächlich in Hohl- und Schneidladungen zum Einsatz.

Im Boden hat Hexogen eine hohe Mobilität durch ein geringes Adsorptionsvermögen und hohe Auswaschbarkeit [Schwendner, 2010] (Tabelle 6). In fester Form ist RDX, z. B. in Munition oder Brocken sehr persistent, aber mit hohem Potential sich in Lösung zu mobilisieren (Porenwasser, Aquifer). RDX ist entsprechend von Feldstudien mobiler als TNT [Brannon & Pennington, 2002]. Der Nachweis von RDX gelingt in vielen Fällen nur über das

Grundwasser. Bei der Probennahme ist bei RDX seine gute photolytische Abbaubarkeit zu beachten. Es wird von Halbwertszeiten im Wasser von 10 h bis 7 Tagen ausgegangen [Schwendner, 2010]. Der Abbau von RDX erfolgt unter anaeroben Bedingungen am optimalsten [Clausen et al., 2006]. Deshalb sollten Proben auf RDX schnellstmöglich in das Labor gelangen und umgehend analysiert werden. Zum aeroben Abbau von RDX findet man in der Literatur widersprüchliche Angaben. Es wird aber davon ausgegangen, dass sich unter aeroben Bedingungen der Abbau langsamer vollzieht.

Arbeitssicherheitsseitig sind die Erkenntnisse von [Martinetz & Rippen, 1996] und [McCormick et al., 1984] wichtig, dass die Toxizität beim Abbau von RDX abnimmt, aber das Kanzerogenitätspotential zunimmt.

Tabelle 6: Stoffeigenschaften von RDX

Dichte	1,82 g/cm ³	
Schmelzpunkt	204 - 206 °C	
Wasserlöslichkeit	bei	[mg/l]
	10 °C	28,9
	20 °C	42,3
	26,5 °C	59,9
	30 °C	75,7

Trinitrophenylmethylnitramin (Tetryl)

Es ist ein sehr brisanter und kräftiger Sprengstoff. Man setzt Tetryl aufgrund seines guten Initiierungsvermögens bei Zündladungen und als Sekundärladungen für Sprengkapseln ein. Tetryl schmilzt bei 128,5 °C und beginnt sich bei 131 °C zu zersetzen. Es wird ausschließlich im gepressten Zustand verwendet. Mit TNT findet man Tetryl in Granaten und Torpedoköpfen.

Tetryl ist ein weniger häufiger Sprengstoff für Zünd- und Übertragungsladungen. Es ist schlecht wasserlöslich (Löslichkeit 200 mg/l). Wegen seiner daraus resultierenden niedrigen Mobilität wird es als gering grundwassergefährdend eingeschätzt. Tetryl ist schlecht abbaubar und adsorptionsfähig, sollte aber trotzdem als grundwasserrelevant beachtet werden.

In der Literatur findet man widersprüchliche Angaben zur Adsorption und Abbaubarkeit von Tetryl. Bei einem langsamen photolytischen Abbau entstehen Pikrat, Methylpikramid, Methylnitramin, Nitrat und Nitrit [Mulisch, H. M. et al., 2008].

Pikrinsäure (TNP)

Pikrinsäure war der wichtigste Sprengstoff im ersten Weltkrieg. Im Zweiten Weltkrieg wurde sie als Sprengstoff noch viel von der Roten Armee verwendet. Mit einem Schmelzpunkt von 121,8 bis 123 °C ließ sie sich gut in Munition füllen.

Sie ist mit 14.000 mg/l sehr gut wasserlöslich. Nur bei größeren TNP-Stücken bleiben diese im Boden längere Zeit erhalten. Feine partikuläre Kontaminationen können sich schnell lösen und damit mobilisieren. In Lösung ist TNP an Boden nicht adsorbierbar.

Unter anaeroben Bedingungen ist TNP langwierig abbaubar (zu 2-A-4,6-Dinitrophenol) und mineralisierbar. Unter aeroben Bedingungen ist es stabil.

Für die Probennahme ist wichtig, dass TNP als eine starke Säure unedle Metalle unter Pikratbildung angreifen kann. Es ist des Öfteren an Fundmunition aus Gewässern vorgekommen, dass sich an ihr grüngelbliche Ausblühungen in Form von Pikraten gebildet haben. Diese Pikratkristalle können sich schon bei bloßer Berührung wie Initialsprengstoff umsetzen und Kettenreaktionen auslösen.

4 Auswertung von Probennahmen auf explosivstoffbelasteten Liegenschaften

4.1 Sprengstoffwerk X - Grundwasserbelastungen

Seit 1829 wurde auf einem 112 ha großen Gelände im Osten Deutschlands Sprengstoffe hergestellt. Zuerst wurden Perkussionszündhütchen gefertigt [Trimbron, 2002]. Dann kam Flobert- und Revolvermunition hinzu. Die Produktpalette wurde später auf Zündkapseln erweitert. Bis 1934 waren hier bis zu 250 Personen mit der Produktion von Patronen, Zündhütchen, Sprengkapseln, verschiedenen Munitionsartikeln sowie der Maschinenherstellung für diese Produktpalette beschäftigt. Im 2. Weltkrieg wurde im großen Maßstab auf Rüstungsproduktion umgestellt. In den Kriegsjahren wurden hier nicht nur Sprengstoffe hergestellt, sondern auch in den so genannten Gießhäusern in Granaten verfüllt. Die Wirren des Kriegsendes führten zu zahlreichen Unklarheiten zur Nutzung einzelner Liegenschaftsbereiche aufgrund fehlender Informationen. Bei den Altlastenerkundungen wurden langjährig gesperrte Geländeabschnitte erstmals wieder begangen. Dabei wurden zahlreiche versprengte Produktionsrückstände und Sprengstoffklumpen bis Fußballgröße gefunden (siehe Abbildung 2). Alte Kanalnetze waren in Haltungsabschnitten bis über die Hälfte des Rohrdurchmessers mit reinem TNT gefüllt (siehe Abbildung 6 und 7). Neben den Kriegseinwirkungen durch Bomben und Infanteriemunition muss es auch Sprengungen gegeben haben. Nach 1945 erfolgte nur eine teilweise Demontage als Kriegsreparation. Die Produktion wurde bald wieder aufgenommen

(anfänglich Jagd- und Schlachtpatronen, Zündhütchen und auch Glühkochplatten). Die dann bis zur „Wende“ 1989 550 Mitarbeiter stellten unterschiedliche Sprengstoffe, Sport- und Jagdmunition her. 1999 lag das Minimum der Belegschaftsstärke bei 35 Beschäftigten. Heute wird in dem Gewerbegebiet wieder Sprengstoff und Munition in geringen Mengen hergestellt.

Die langjährige Produktion von Sprengstoffen, Munition und die Kriegseinwirkungen führten zu erheblichen Bodenkontaminationen und Grundwasserbelastungen durch nitroaromatische Verbindungen. Zum Teil weisen die Gebäudesubstanz und das Kanalnetz aufgrund der jahrelangen Sprengmittelproduktion oft derart starke Kontaminationen auf, dass von ihnen eine Explosionsgefährdung ausgeht.

Der Autor der vorliegenden Dissertation wirkte an zahlreichen Boden-, Grundwasser- und Gebäudeuntersuchungen sowie an Maßnahmen zur Abwehr akuter Explosionsgefährdungen mit (Abbildung 18). Es liefen im Sprengstoffwerk zeitweilig parallel 11 Teilprojekte zur Erkundung, Überwachung und Sanierung der Kontaminationen.

Bei der letzten Probennahme des Grundwassers wurde besonders auf die durch den Probenehmer erkennbaren Belastungsmerkmale geachtet und die Feststellungen sehr genau in den Probennahmeprotokollen beschrieben (Tabelle 7). Parallel zur Routineprobennahme wurden Rückstellproben entnommen, um mobile Messtechnik im Rahmen eines anderen Projektes zu testen und Felduntersuchungsmethoden zu validieren.



Abbildung 18: Grundwasserprobennahme auf dem Werksgelände

Es wird seitens der Begutachter der Deutschen Akkreditierungsstelle immer wieder darauf hingewiesen, bei der Grundwasserprobennahme auf die organoleptisch erfassbaren

Größen, wie Färbung, Geruch (der Gefahrstoffsituation angemessen), Trübung und weitere Besonderheiten (Bemerkungen), wie Schaumbildung, Schlieren, Ölfilm, Kamhaut, Flocken usw. einzugehen [Küchler, 2010]. Diese müssen optimalerweise parallel zu den Messwerten der Milieuparameter aufmerksam erfasst werden. Die Ganglinie organoleptischer Eindrücke über die Zeit kann wichtige Aufschlüsse zur Grundwasserbelastung und zum Messstellenzustand geben. Die BG Bau weist bei Vorhandensein von Gefahrstoffen darauf hin, dass die ausdrückliche Anweisung der Geruchsprobe strafrechtliche Konsequenzen haben kann [Feige-Munzig, 2010].

In diesem Beispiel wird anhand Daten, die durch den Autor der Dissertation vor Ort erhoben wurden verdeutlicht, wie organoleptische Befunde bei mit STV belasteten Grundwässern mit der Geruchsintensität korrelieren. Die Abbildung 19 stellt eine Zusammenfassung der wesentlichen Untersuchungsergebnisse in Form von Summen STV (2,4,6-Trinitrotoluol, 2,4-Dinitrotoluol, 2,6-Dinitrotoluol, 3,4-Dinitrotoluol, 3,5-Dinitrotoluol, 4-Nitrotoluol, 2-Nitrotoluol, 3-Nitrotoluol, Nitrobenzol, 1,3-Dinitrobenzol, 1,3,5-Trinitrobenzol, 4-Amino-2,6-dinitrotoluol, 2-Amino-4,6-dinitrotoluol) und die Abbildung 20 BTEX mit den organoleptischen Befunden dar. Die Farbansprache erfolgte entsprechend der Kürzel der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 5. Auflage [Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden, 2005]. Die Farb- und Geruchsintensitäten gehen in den Abstufungen von „0“ – keine Auffälligkeit bis „5“ sehr stark/auffällig. Der erwähnte Marzipangeruch hängt unmittelbar mit den Nitroaromaten, vornehmlich DNT und Nitrobenzol zusammen. Der faulige Geruch im Grundwasser stellt auch die Abweichungen bzw. Ausreißer im Geruchsbild dar. Hier liegen andere Gründe als die STV-Belastung vor. Es wird verdeutlicht, dass nicht nur die Intensität des Geruchs, sondern auch die Eigenart beschrieben werden muss. Man muss aber beachten, dass jeder Probenehmer auch andere Geruchsempfindungen und Geruchserfahrungen hat. Ein guter praktisch erfahrener Chemiker kann viel mehr geruchlich zuordnen und eingrenzen. BTEX spielt bei der geruchlichen Wahrnehmung ebenfalls eine große Rolle. Hier ist die Übereinstimmung der Geruchsempfindung mit dem Untersuchungsergebnis im geringen Maße stimmig. Der BTEX-Gehalt ist vor allem durch Benzol und Toluol, die mit den STV nicht immer korrelieren, bestimmt. Nach eigenen Erfahrungen wird der Geruchsschwellenwert neben der Konzentration auch von der Anzahl der Substituenten bestimmt. Der Marzipangeruch überdeckt den aromatischen Geruch völlig.

Tabelle 7: Untersuchungsergebnisse eines Grundwassermonitorings

Labor-Nr.	Färbung	Färbung Intensität	Geruch	Geruch Intensität	Bemerkungen	STV [$\mu\text{g/l}$]	BTEX [$\mu\text{g/l}$]
4	gr	3		0	ffS + u; 1%	1,19	2,1
39	gr	1	fau	1		1,29	u.B.
32		0		0		3,54	u.B.
5		0		0		3,65	3,6
8	hgr	3		0		4,77	7,4
33		0	fau	1		4,86	2,6
26		0		0		5,08	7,9
29	ro	4	Fe artig	3		8,43	2,3
35		0	fau	1		9,58	u.B.
37		0		0		9,96	u.B.
38	hrobn	1		0		10,96	u.B.
31	hgr	4	fau	1		12,36	9,0
13		0		0		21,51	u.B.
15		0		0		29,00	3,5
27		0		0		31,13	u.B.
9	gr	5		0	absetzbarer Schlamm	70,18	1,3
41	hgr	3	fau	1	versandet	207,52	u.B.
11		0		0		307,63	12,8
30	gebn	2		0		343,70	u.B.
14		0	Marzipan	2		1589,10	5,6
10	ge	3	Marzipan	3		2364,70	159,7
18	ge	3	Marzipan	3		5400,50	342,0
6	gebn	2	Marzipan	3		5572,10	93,2
3	ge	1	Marzipan	3		6544,07	31,8
23	ge	2	Marzipan	3		8422,10	182,6
22	bn	2	Marzipan	3		8534,00	336,0
28	hge	1	org. STV?	3		11007,94	196,8
7	ge	2	Marzipan	3		14474,50	663,5
2		0	Marzipan	3		19356,00	1124,5
19	bn	4	Marzipan	4		19726,50	1409,9
20	hbn	3	Marzipan	5		74671,00	5349,3
17	hgegn	3	Marzipan	5		174566,60	3718,3

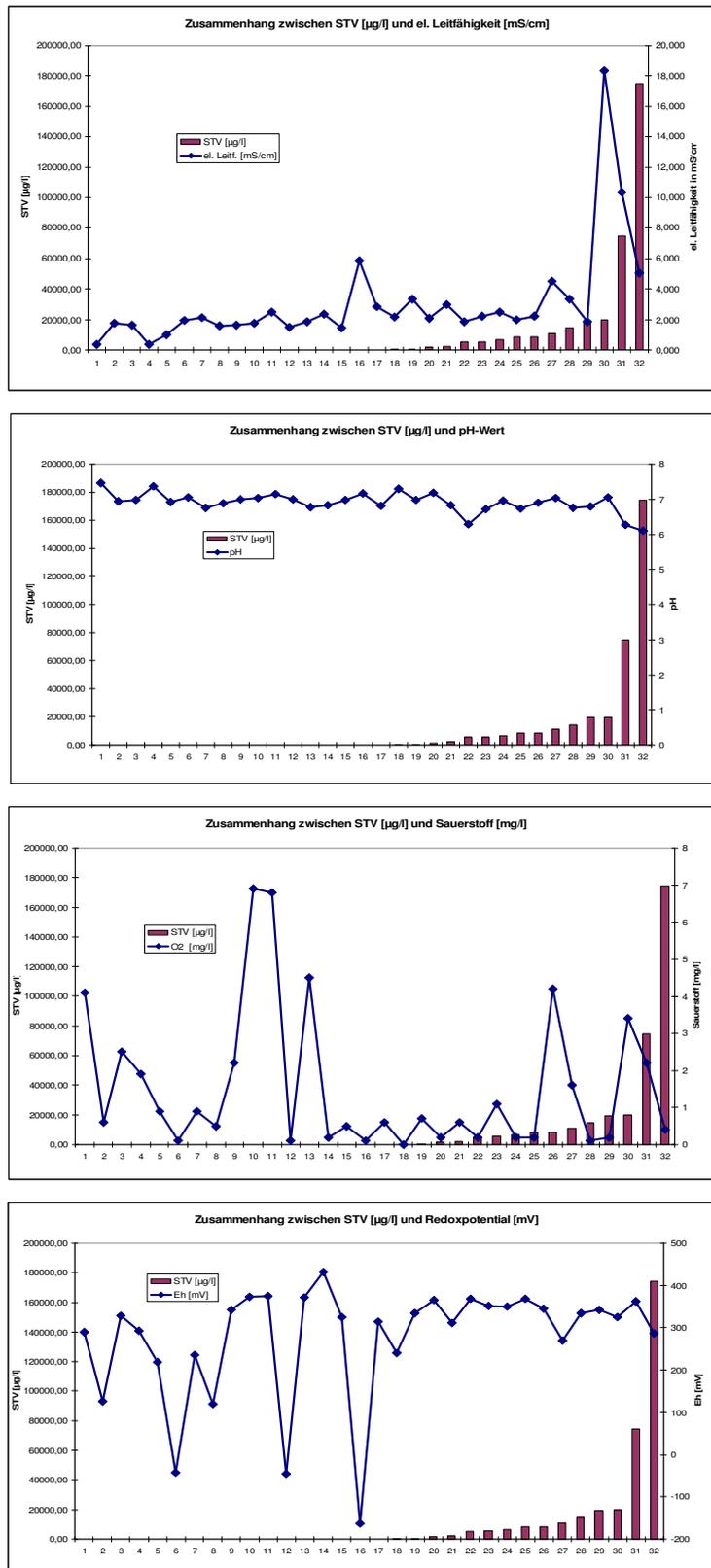


Abbildung 21: Darstellung des Zusammenhangs STV im Grundwasser und der Vor-Ort-Parameter elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff und Redoxpotential

Die Abbildung 21 verdeutlicht, dass ein Zusammenhang zwischen STV Konzentration und den Vor-Ort-Parametern elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff und Redoxpotential in dem konkreten Fall nicht erkennbar ist. Dennoch werden anhand der geringen Sauerstoffwerte und der zum Teil extrem hohen elektrischen Leitfähigkeit Grundwasserbelastungen nachgewiesen. In den durchzuführenden Untersuchungen auf dieser Liegenschaft war auch zu prüfen, ob in Grundwassermessstellen, die über den gesamten Grundwasserleiter verfiltert waren, mit einer Leitfähigkeitstiefenelektrode Belastungsschwankungen identifizierbar waren. Das Ergebnis war nicht zufriedenstellend, da ein Analogschluss zur STV-Belastung nicht gelang.

4.2 Sprengstoffwerk X - Bodenbelastungen

Im Rahmen eines Projektes in einem Sprengstoffwerk werden bei der Probennahme mit dem TNT-Schnelltest ermittelte Werte den Laboranalysen gegenübergestellt.

Die Verhältnisse von Befunden und Fehlbefunden und der Untersuchungsumfang entsprechen der Realität. Mit dieser Datengrundlage musste eine Off-Site Sanierung in einem definierten Aushubbereich geplant werden. Die sehr hohen STV-Gehalte auf der Fläche resultieren von einer ehemaligen Abwasserklärgrube, einer früheren Abwasserkühlanlage und einem ehemaligen so genannten „Tri-Waschhaus“. Die hohen Belastungen konzentrieren sich vor allem auf den oberflächigen und oberflächennahen Bereich (Abbildung 22 und 24), liegen jedoch bei zwei Sondierungen um die ehemalige Abwasserklärgrube auch bis in eine Tiefe von 4 m vor.



Abbildung 22: Mit TNT-Stücken und auskristallisiertem TNT hoch belasteter Oberboden, vergrößert aus dem nebenstehenden Schurf



Es wurden alle Einzelproben einem TNT-Schnelltest unterzogen. In der nachfolgenden Tabelle 8 erfolgt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der Schnelltests (Farbreaktionen nach den Stufen 0 bis 5) mit den Ergebnissen der Laboranalysen (Feststoffuntersuchungen). Die Abbildung 23 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Schnelltest und dem analytisch gemessenem Gehalt.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Ergebnisse der TNT-Schnelltests und der Laboranalytik

Pr. Nr.	Entnahmetiefe	TNT-Schnelltest	Summe STV gesamt	2,4,6-Trinitro- toluol	Summe sonstige STV	Min	Max
						sonstige STV	sonstige STV
	m u. GOK	Stufe 0 bis 5	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
R A2Cb-2-3	2,60 - 3,00	0	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/1-1	0,30 - 0,70	0	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/1-3	2,10 - 3,00	0	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/3-1	0,00 - 1,00	0	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/4-1	0,20 - 0,70	0	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/5-3	2,20 - 2,70	0	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/6-1	0,30 - 0,80	0	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/6-3	2,00 - 2,40	0	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/5-1	0,00 - 0,30	0	0,43	0,43	0,00	0,00	0,00
R RB/4-3	2,60 - 2,90	0	0,50	< 0,10	0,50	0,50	0,50
R A2Cb-1-3	2,40 - 3,00	0	0,67	0,50	0,17	0,17	0,17
R RB/2-3	2,30 - 2,60	0	1,54	0,90	0,64	0,21	0,43
BS A2Cc-2-2	1,80 - 2,00	0	2,12	1,80	0,32	0,32	0,32
R RB/3-2	1,30 - 2,00	0	4,72	0,50	4,22	0,82	1,30
BS A2Cb-3	2,40 - 2,80	0	10,00	10,00	0,00	0,00	0,00
R A2Cb-3-2	1,00 - 2,00	1	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/11-3	2,50 - 2,70	1	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R RB/12-3	2,40 - 3,00	1	< 0,10	< 0,10	0,00	0,00	0,00
R A2Cc-2	1,10 - 2,00	1	0,94	0,94	0,00	0,00	0,00
R A2Cb-3-3	2,60 - 2,90	1	1,00	0,89	0,11	0,11	0,11
R RB/10-1	0,20 - 1,00	1	2,74	1,10	1,64	0,26	0,83
R A2Cc-3	2,80 - 3,00	1	12,95	12,00	0,95	0,12	0,30
BS A2Cc-1-2	1,00 - 1,40	1	56,90	32,00	24,90	2,30	9,60
R RB/7-3	2,40 - 2,70	1	59,10	53,00	6,10	6,10	6,10
R RB/2-1	0,30 - 0,90	1	649,60	520,00	129,60	4,30	80,00
R RB/15-1	0,00 - 0,50	2	903,27	900,00	3,27	0,25	1,60
R RB/8-3	2,00 - 2,80	3	60,64	60,00	0,64	0,64	0,64
R RB/15-4	3,00 - 3,20	3	2898,00	800,00	2098,00	11,00	1000,00
R RB/16-3	2,00 - 2,80	4	14,00	14,00	0,00	0,00	0,00
R RB/17-3	2,40 - 2,80	4	550,33	520,00	30,33	0,33	16,00
R RB/16-1	0,00 - 0,20	5	1123,00	1100,00	23,00	6,40	9,70
BS RB/2-1	0,10 - 0,20	5	1307,10	970,00	337,10	9,10	280,00
BS RB/1-1	0,10 - 0,90	5	2104,70	490,00	1614,70	4,70	890,00
R RB/7-1	0,00 - 0,30	5	40200,00	40000,00	200,00	200,00	200,00
R RB/17-1	0,10 - 0,30	5	48560,00	48000,00	560,00	560,00	560,00
BS RB/3-1	0,10 - 0,35	5	125500,00	120000,00	5500,00	1200,00	4300,00
R RB/8-1	0,00 - 0,30	5	163100,00	44000,00	119100,00	4100,00	79000,00

- die Farbreaktionsstufen 2, 3 und 4 stehen für hohe bis sehr hohe STV-Gehalte, wobei auch Ausreißer nach unten dabei sein können
- die Farbreaktionsstufe 5 steht für sehr hohe bis extrem hohe STV-Gehalte

Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung sind für die Ersterkundung, für die Festlegung von Schürfstellen, Bohransatzpunkten, aber auch für die fachtechnische Begleitung von Sanierungsmaßnahmen, besonders bei der Separierung von Aushubmassen von großer praktischer Bedeutung.

4.3 Handgranatenwurfplatz

Auf einem Großteil von Truppenübungsplätzen der deutschen und der alliierten Armeen befinden sich oftmals versteckt, zum Teil eingewachsen oder unkenntlich verändert bzw. „beräumt“, Handgranatenwurfplätze. Diese sind neben bestimmten, aber oft nicht mehr vorhandenen baulichen Einrichtungen (z. B. markierte Zielbereiche, Abwurfgräben aus Beton oder mit Holzverbau usw.) und durch vegetationsfreie, rotbraune, mit kleinen rostigen Metallsplintern durchsetzten Bodenbereichen erkennbar. Ohne genauere Betrachtung und die Anwendung analytischer und technischer Hilfsmittel durch den Probenehmer sind die zum Teil sehr hoch mit 2,4,6-Trinitrotoluol, 2,4-Dinitrotoluol, 4-Amino-4,6-dinitrotoluol, 3-Nitrotoluol, 3-Nitrotoluol usw. belasteten Zielbereiche nicht lokalisierbar. Neben dem TNT-Schnelltest und ggf. dem IMS (s. Abschnitt 5.4) für die STV sollte man auch Differenzmagnetometer (z. B. so genannte Ferrex-Sonden) einsetzen um das Zentrum der Splitterbereiche zu lokalisieren. Anhand der Beobachtungen und Untersuchungen vor Ort kann erst ein qualifizierter Probenentnahmeplan erstellt werden, der wiederum die Grundlage eines konkreten Angebotes ist. Ein derartiges systematisches, phasenweises Vorgehen ist in den Arbeitshilfen Boden und Grundwasserschutz des Bundes vorgeschrieben [OFD-H, 2008]. Die Abbildung 25 zeigt einen Handgranatenwurfplatz, der von einem Revierförster zufällig entdeckt wurde.



Abbildung 25: Bereich eines ehemaligen Handgranatenwurfplatzes, der nachträglich teilweise stark verändert wurde und dadurch schlecht eingrenzbar war

Vor Beginn der Sondierarbeiten wurden alle Ansatzpunkte durch eine sachkundige Person nach § 20 SprengG mit einem Differenzmagnetometer überprüft.

Alle Sondierungen wurden als Handsondierungen ausgeführt. Da im Bereich vor der Baumgruppe aufgrund des hohen Metallanteils im Boden teilweise keine Freigabe erfolgen konnte, wurden dort die Sondierungen als schrittweise Handschachtungen mit dem Spaten durchgeführt. Bei diesen Handschachtungen wurden in großem Umfang Metallteile zu Tage gefördert, bei denen es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um Granatsplitter handelte.

Die Sondierungen wurden wegen des hohen Anteils an Metallsplintern bis mindestens 0,3 m mittels Spaten und anschließend mittels Handbohrgerät bzw. Lochspaten durchgeführt.

Zur Präzisierung der Bohransatzpunkte und der Probeentnahmebereiche in den Schürfen und Handsondierungen wurde mit dem TNT-Schnelltest gearbeitet. So konnte aufgrund der durch den TNT-Schnelltest festgestellten inhomogenen Verteilung der STV-Belastungen auf der Fläche und in die Tiefe Laboranalysen eingespart werden. Für die Ersterkundung ergaben sich durch die Optimierung der Probennahme aufgrund der Anwendung von Testmethoden sehr weit führende Aussagen:

Auf dem Standort wurden im und um den abgegrenzten Zielbereich des Handgranatenwurfstandes sehr hohe Gehalte an STV im unmittelbaren Oberboden bis 0,4 m unter GOK ermittelt. Eine Eindringtiefe der Schadstoffe bis 0,6 m unter GOK ist aufgrund der Ergebnisse des Schnelltests wahrscheinlich. Der kontaminierte Bereich ist mit den durchgeführten Untersuchungen lateral noch nicht eingegrenzt. Es konnte bisher lediglich eine kontaminierte Fläche von ca. 11 m x 15 m = 165 m² festgestellt werden.

Bei einer Eindringtiefe von max. 0,6 m entspricht das ca. 100 m³ kontaminiertem Boden.

Aus den nachgewiesenen Schadstoffgehalten im Oberboden des Zielbereiches, die alle die empfohlenen Prüfwerte für sprengstofftypische Verbindungen erheblich überschreiten, lässt

sich eine Gefahr für die Schutzgüter ableiten. Für den abgegrenzten Zielbereich des Handgranatenwurfstandes sowie dessen unmittelbaren Umfeldes besteht somit Handlungsbedarf.

Die Abbildungen 26 und 27 zeigen die laterale Eingrenzung mittels Lochspatenschurf mit TNT-Schnelltest und die vertikalen Untersuchungspunkte in einem Zielgebiet.

In der Tabelle 9 wird die probennahme- und analytikoptimierende Wirkung von Vor-Ort-Untersuchungsmethoden deutlich.

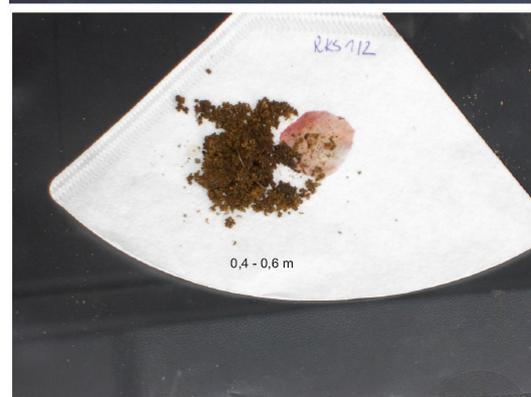


Abbildung 27: Fotodokumentation des Lochspatenschurfs mit Darstellung des TNT-Schnelltests



Abbildung 26: Handgranatenzielbereich mit Darstellung der Untersuchungspunkte

Tabelle 9: Ergebnisse des TNT-Schnelltests und der TNT Analysen

Probe	Entnahmetiefe	Schnelltest	Analytik TNT [mg/kg TM]
RKS 1-1	0,0 – 0,4 m	5	4588
RKS 1-2	0,4 – 0,5 m	2	
	0,5 – 1,0 m	0	
RKS 2-1	0,0 – 0,4 m	5	2358
RKS 2-2	0,4 – 0,6 m	2	
	0,6 – 1,0 m	0	
RKS 3-1	0,0 – 0,4 m	4	881
RKS 3-2	0,4 – 0,6 m	1	
	0,6 – 1,0 m	0	
RKS 4-1	0,0 – 0,2 m	3	1256
RKS 4-2	0,2 – 0,6 m	1	
	0,6 – 1,0 m	0	
RKS 5-1	0,0 – 0,4 m	0 (1)	
RKS 5-2	0,4 – 1,0 m	0	
RKS 6-1	0,0 – 0,4 m	0	
RKS 6-2	0,4 – 1,0 m	0	
RKS 7-1	0,0 – 0,4 m	5	2920
RKS 7-2	0,4 – 0,8 m	2	
	0,5 – 1,0 m	0	
RKS 8-1	0,0 – 0,2 m	1	
RKS 8-2	0,2 – 0,7 m	0	
	0,5 – 1,0 m	0	

4.4 Truppenübungsplatz – Artilleriezielfeld und Sprengplatz

Im Rahmen von Voruntersuchungen für Kampfmittelräummaßnahmen erfolgen aus arbeitssicherheitstechnischen Gründen chemische Untersuchungen vom verweharen Anteil des Oberbodens auf STV. In Abbildung 28 ist der ca. 500 x 500 m große Untersuchungsbereich in einem Luftbild zu sehen.



Abbildung 28: Luftbild des Untersuchungs-bereiches mit Sprengtrichtern
[Google Earth, 2010]

Es handelt sich um Sprengtrichter mit Durchmessern von über 100 m (grüne Ringe) in einem heideartigem Gelände mit zahlreichen Granateinschlägen (helle Punkte) aus jüngster Vergangenheit. Die Abbildung 29 zeigt das Gelände der Sprengtrichter mit weiteren kleineren Sprengtrichtern. Hier befinden sich auch Granateinschlagtrichter, die vom aktuellen Übungsbetrieb stammen (Abbildung 30).



Abbildung 29:
Gelände mit Sprengtrichtern



Abbildung 30: Granateinschlagtrichter ca. 2 m
Durchmesser aus dem aktuellen
Übungsbetrieb

Der Übungsplatz wurde bereits von der Reichswehr und der Wehrmacht genutzt. Nach dem zweiten Weltkrieg wurden hier große Mengen Munition von den alliierten Truppen und dann von der Roten Armee gesprengt. Gegenwärtig sind keine Zahlen bekannt. Es ist anzunehmen, dass es mehrere tausend Tonnen gewesen sein müssen. Dabei wurde die Munition nur zum Teil vernichtet. Hauptziel war die Erzielung der Unbrauchbarkeit der Munition durch zumindest Ansprengen. Deshalb befanden sich zum Zeitpunkt der Probennahme Unmengen von Munition auf der Erdoberfläche und noch mehr im Untergrund. Später erfolgte eine kombinierte Nutzung als Artilleriezielfeld und als Sprengplatz. Nach Übernahme des Geländes durch die Bundeswehr wurde der Übungs- und Schießplatzbetrieb fortgesetzt.

Bevor die Kampfmittelräummaßnahme begonnen werden konnte, musste die Probennahme unter den erschwerten Bedingungen des Vorhandenseins von nicht handhabungssicheren Kampfmitteln erfolgen. Die folgende Abbildung 31 vermittelt einen Eindruck über die Probennahmebedingungen.



Abbildung 31: Versprengte und angesprengte Munition

Die Probennahme (Abbildung 32) erfolgte durch eine Sachkundige Person nach § 20 SprengG (Feuerwerker) und einen Kampfmittelondierer/Räumhelfer. Beide Probenehmer besaßen eine Akkreditierung und eine Zulassung entsprechend der „Anforderungen an Probennahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften“.

Entsprechend des kombinierten Arbeits- und Sicherheitsplanes für Arbeiten in kontaminierten Bereichen und Arbeiten bei der Kampfmittelräumung erfolgten die Probennahmearbeiten unter Aufsicht einer dritten Person aus der Ferne, die im Notfall Hilfe herbeirufen konnte.



Abbildung 32:
Probennahmestelle in einem
Rasterfeld zur Entnahme von
28 Einzelproben

Die Probennahme erfolgte in folgenden Schritten:

- Vorbereitungs- und Planungsphase mit GPS-gestützter Festlegung von einem Raster 50 x 50 m mit jeweils 20 Einzelproben bis 10 cm Tiefe
- GPS-geführte Probennahme der Einzelproben der Raster unter Führung des Feuerwerkers mit Zuhilfenahme einer Kampfmittelsonde zur Freigabe der Wege und Probennahmepunkte
- Rasterweise Mischung der jeweils 20 Einzelproben und Teilung zur Laborprobe, Verpackung, Dokumentation

Es wurden nur Böden beprobt. Sprengstoffbrocken, die insbesondere in den Sprengtrichtern in größeren Mengen lagen, wurden nicht in die Proben überführt bzw. wurden aus den Proben ausgesondert. Es war ausdrückliches Ziel, den verwehbaren Anteil an STV in Oberböden zu ermitteln.

In Abbildung 33 ist das Probennahmeraster dargestellt. Hier ist auch die einzige Fundstelle gekennzeichnet, wo analytisch STV nachgewiesen wurden (Tabelle 10).

Tabelle 10: Auszug aus dem Prüfbericht mit Ergebnissen der Mischprobe M2

Probenbezeichnung durch Auftraggeber				BM M07/2		-
Parameter	Einheit	Prüfverfahren	Bestimmungsgrenze			
Oktogen	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
Hexogen	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
2-Nitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
3-Nitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
4-Nitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
1,3-Dinitrobenzol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
1,3,5-Trinitrobenzol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
2,4-Dinitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
2,6-Dinitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
3,4-Dinitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
3,5-Dinitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-
2,4,6-Trinitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	1300	1400	1350
4-Amino-2,6-dinitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	5,4	5,0	5,2
2-Amino-4,6-dinitrotoluol	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	4,9	4,7	4,8
Hexyl	mg/kg TS	NLÖ-RV/92	0,5	n.n.	n.n.	-

Das Ergebnis entsprach nicht den Erwartungen, die sich aus den Beobachtungen vor Ort ergeben hatten. In der Arbeitshilfen für die Untersuchung von Sprengplätzen des Landesamtes für Umwelt Bayern wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass aufgrund von Einzelbefunden bzw. Nichtbefunden zu oft endgültige Schlussfolgerungen gezogen werden, ohne die Untersuchungsstrategie anzupassen und in einer weiteren Untersuchungsphase offene Fragen und Probleme zu klären [Schwendner, 2010].

Die Probennahme im vorgestellten Fall hatte Stichprobencharakter. Durch den gezielten Einsatz von Vor-Ort-Untersuchungsmethoden sind Kontaminationsschwerpunkte im Feinkornbereich besser erkennbar und können gezielter beprobt werden.

Bei der Kampfmittelräummaßnahme stellen insbesondere die Stäube für das Räumstellenpersonal Gesundheitsgefahren dar.

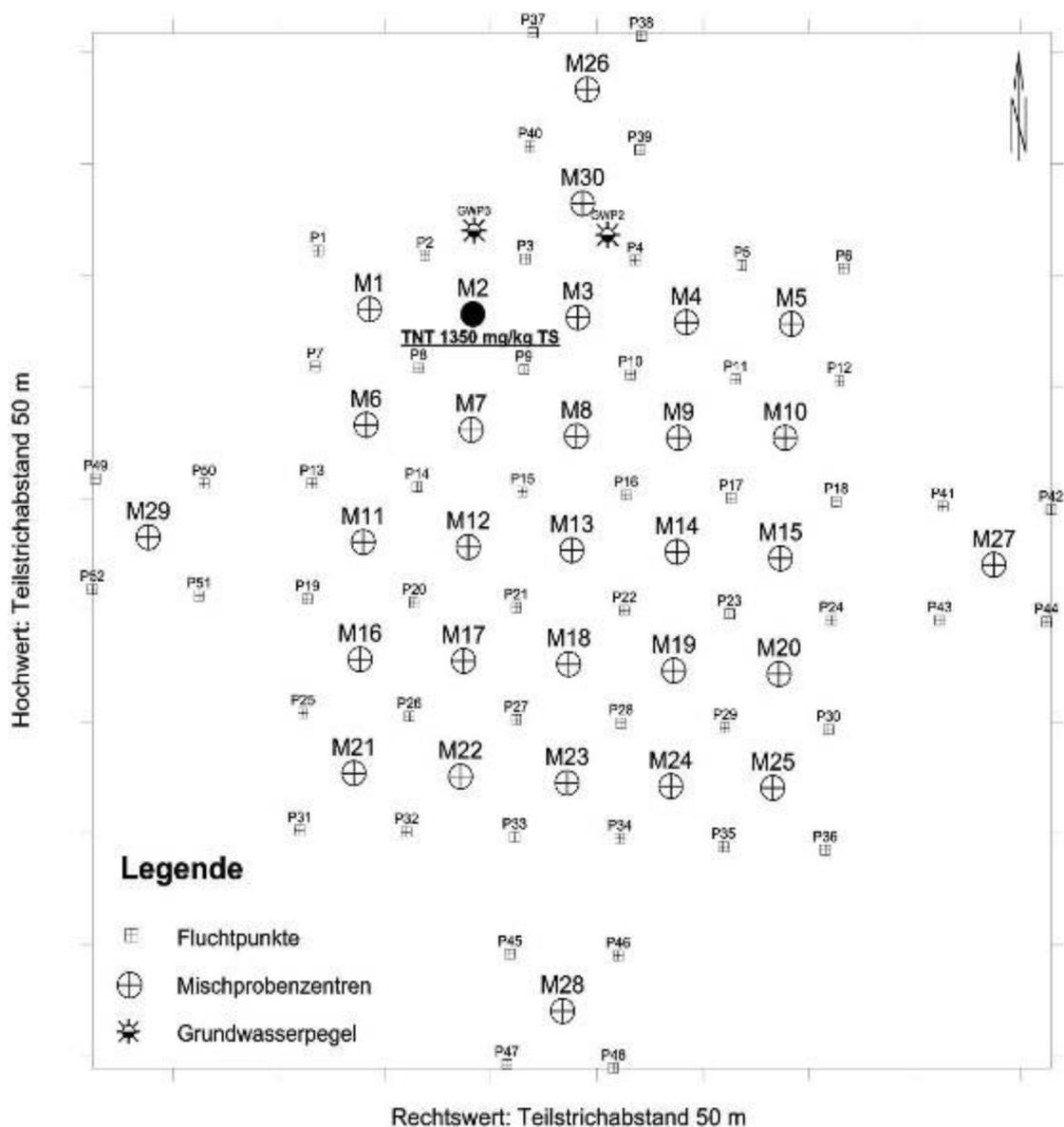


Abbildung 33: Lageplan der Rasterpunkte und Mischprobenzentren mit Darstellung des einzigen Nachweises von STV

Bei der Kampfmittelräumung wurde in dem Bereich wochenlang mit einer Munitionsseparationsanlage gearbeitet. Es wurden täglich bis zu 2000 Zünder, Granaten usw. von mehreren Tonnen Schrott und Boden separiert (Abbildung 34).



Abbildung 34: Munitionsseparationsanlage im Einsatz

5 Probennahmeverfahren und deren Eignung für sprengstofftypische Verbindungen

5.1 Bodenprobennahme

5.1.1 Grundlagen

Die Entnahme von Bodenproben erfolgt bei mit STV belasteten Liegenschaften im Wesentlichen durch oberflächennahe Einzel- und Mischproben, Handschurfe, Schurfe mittels Bagger, Handbohrungen, Schneckenbohrungen, Rammkernsondierungen (RKS) und Kernbohrungen. Im angewandten Bodenschutzbereich werden von Labors und Ingenieurbüros Bohrungen von bis zu 10 m u. GOK mit Durchmessern bis zu 80 mm durchgeführt. Tiefere und größere Bohrungen erfolgen durch Bohrunternehmen mit größerer Technik mit ingenieurgeologischer Betreuung. In Fällen, bei denen der Verdacht auf hohe Sprengstoffgehalte oder das Vorkommen von Initialsprengstoffen besteht, erfolgen videoüberwachte ferngesteuerte Bohrungen. Diese werden vorwiegend als Schneckenbohrungen ausgeführt. Rammkernsondierungen sind in solchen Fällen nicht zu empfehlen.

Die Probennahmen erfolgen nicht nur im gestörten oder ungestörten Bodenbereich, sondern auch aus Haufwerken. Hierbei liegt zumeist ein abfallrechtlicher Hintergrund für die

Probennahme vor, was ein entsprechendes Vorgehen nach den Regeln der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) erfordert [LAGA, 2001].

Die Bund- / Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) empfiehlt in Ihrem Fachmodul Boden und Altlasten eine Liste an Bodenprobennahmetechnik, die zwingend im Besitz des probenehmenden Unternehmens zu sein hat. Diese Liste wird ergänzt durch die in der LAGA PN 98 [LAGA, 2001] aufgeführte Probennahmetechnik für stichfeste Abfälle, die auf die Erstellung repräsentativer Laborproben aus Einzel- und Sammelproben abzielt.

Die normativen und gesetzlichen Regelwerke zur Probennahme befinden sich in der BBodSchV, im Fachmodul Boden und Altlasten - Bereichsspezifische Anforderungen an die Kompetenz von Untersuchungsstellen im Bereich Boden und Altlasten, im Fachmodul Abfall - Kompetenznachweis und im Notifizierung von Prüflaboratorien und Messstellen (Untersuchungsstellen) im abfallrechtlich geregelten Umweltbereich und den Anforderungen an Probennahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften. Diese für die Bundesrepublik auf Bundes- und Landesebene anzuwendenden Vorgaben sind nicht einheitlich und oft nicht mit der nationalen und internationalen Normung aktualisiert. Die Forderung, dass immer die aktuellste Norm gilt, ist nur in wenigen Länderregeln zu finden.

5.1.2 Planung, Koordination, Abstimmung

Vor Beginn der Probennahme ist die gesamte Vorgehensweise mit dem verantwortlichen Projektleiter zu planen, koordinieren und abzustimmen. Die Probennahmeplanung bei Liegenschaften mit Sprengstoffbelastungen muss nicht nur den berufsgenossenschaftlichen Bestimmungen die für kontaminierte Bereiche gelten, sondern auch den gesetzlichen Anforderungen des Umgangs mit Gefahrstoffen, Sprengstoffen und Munition entsprechen. Neben dem Untersuchungskonzept ist ein Arbeits- und Sicherheitsplan zu erstellen, der dem Vorschlag unter Punkt 6 ff. und Anlage 1 entsprechen sollte. Die Benennung einer verantwortlichen Person nach § 20 SprengG ist von Gesetzes wegen unerlässlich. Weiterhin müssen je nach Bundesland Anzeigen der Arbeiten bei der Berufsgenossenschaft, dem Gewerbeaufsichtsamt und dem Kampfmittelbeseitigungsdienst erfolgen.

Des Weiteren muss eine Abstimmung mit dem Labor bezüglich der zu erwartenden Anlieferung von Proben erfolgen. Der beauftragte Probenehmer meldet die geplanten Probennahmen unter Angabe der zuvor aufgeführten Punkte im Labor an. Ansprechpartner sind der Laborleiter oder sein Vertreter.

Dem Labor wird mindestens

- ⇒ die Art der zu entnehmenden Proben,
- ⇒ die Anzahl der Proben,
- ⇒ der Parameterumfang,
- ⇒ der Anlieferungstermin der Proben

mitgeteilt, damit die Bereitstellung geeigneter Probengefäße und die Vorbereitung der Laborgeräte bzw. Messgeräte auf die Aufgabe rechtzeitig erfolgen kann.

Mit dem Labor wird die Notwendigkeit und ggf. Art und Umfang der Probenkonservierung abgestimmt. Der Probenehmer übernimmt die vom Labor bereitgestellten Probengefäße und führt die Probennahmen durch.

5.1.3 Durchführung von Kleinrammbohrungen

Bei den Arbeiten sind gemäß der Gefahrenbeurteilung entsprechende Arbeitsschutzmaßnahmen umzusetzen. Entsprechende Arbeitsschutzbekleidung ist zu tragen. Bei Benutzung des Elektrobohrhammers und anderer lauter Technik ist Gehörschutz anzulegen.

Wenn es im Vorfeld der Arbeiten keine Kampfmittelfreigabe der zuständigen staatlichen Stelle gab, muss der ohnehin im STV-Verdachtsbereich anwesende Feuerwerker (Sachkundige Person nach § 20 SprengG) die Untersuchungen zur Bohrpunktfreigabe durchführen. Das entbindet nicht von der Einholung von Schachterlaubnisscheinen bezüglich unterirdisch verlegter Medien. Aus Sicherheitsgründen muss ein Untersuchungsbereich in einem Kampfmittelverdachtsbereich vor Beginn der Bohrarbeiten mit einer geophysikalischen Untersuchung auf Kampfmittel überprüft worden sein. Messwerte in Oberflächennähe sind ggf. durch eine Kontrollschachtung aufzuklären. Für Bohrpunktfreigaben sind Bohrlochsondierungen parallel zum geplanten Bohransatzpunkt durchzuführen. Dabei ist zu beachten, dass entsprechend der vorhandenen standörtlichen Störwerte der optimale Abstand errechnet werden muss [Winkelmann und Fischer, 2009]. Weiterhin kann begleitend zu den Rammkernsondierarbeiten gemessen werden. Dafür gilt auch, den optimalen Messabstand zu berechnen. Aus arbeitsschutztechnischer Sicht sind Rammkernsondierungen zur Bohrlochsondierung entsprechend der Regelwerke von Bund und Ländern verboten. Weiterhin muss bei der Messung der Bohransatzpunkt von allen ferromagnetischen Störkörpern beräumt werden, was einen erheblichen zusätzlichen Aufwand erfordert. Zur Zeit werden für die Durchführung der Bohrlochsondierung vorwiegend Differenzmagnetometer eingesetzt. Die Bohrlochaussteifungen oder die Bohrwerkzeuge, in denen gemessen wird, sind aus nicht ferromagnetischen Werkstoffen. Es können in

Abhängigkeit von der Standortmorphologie, den örtlichen Verhältnissen, der erforderlichen Bohrlochtiefe etc. nachfolgende Verfahren eingesetzt werden:

- Bohren mit Stahlschnecke in standfestem Boden mit nachfolgendem Einbringen der nichtmagnetischen Aussteifung (z. B. Kunststoffrohre),
- Bohren mit Hohlbohrstahlschnecke mit Bohrkopf, der nach dem Niederbringen des Loches gezogen werden kann. In die Schnecke wird danach die nichtmagnetische Aussteifung eingebracht und die Schnecke gezogen,
- Bohren mit Aluminium-Hohlbohrschnecke und Sondierung im Gestänge (nicht mehr üblich),
- Spülbohrungen mit Glattrohrgestänge (Spülung mit Wasser oder Luft),
- direktes Einspülen der Messrohre (unübliche Methode).

Die beiden letzten Verfahren sind bei der Erkundung zur Probennahme wegen der auftretenden Querkontaminationen und Kontaminationsverschleppungen nicht anwendbar. Ergeben die Oberflächenmessung mit dem Suchgerät keine verdächtigen Anomalien, kann mit dem Bohren begonnen werden. In einer Tiefe von 0,5 bis 1,5 m ist die Bohrung zu unterbrechen und mit einem geeigneten Suchgerät auf der Bohrsohle zu messen. Ergibt diese Messung keine verdächtigen Anomalien, werden die nächsten 0,5 bis 1,5 m tiefer gebohrt. Hier erfolgt die nächste Kontrollsondierung. Dieses Verfahren ist in Abhängigkeit von der angestrebten Bohrtiefe alle 0,5 bis 1,5 m zu wiederholen. Die Geräte und Materialien werden in einiger Entfernung, so dass sie den Bohrvorgang nicht behindern, neben den Sondierungspunkt gelegt.

Nach der Freigabe des Bohransatzpunktes kann die eigentliche Einrichtung der Bohrstelle erfolgen. Entsprechend der Menge des benötigten Probenmaterials und der Bohrgutbeschaffenheit sind die Sonden auszuwählen (Schlitzlänge mindestens 1 m Durchmesser von 50, 60 oder 80 mm). Der Einsatz von Sonden mit einem Durchmesser von 36 cm und kleiner sowie das Erbohren von Bohrkernen über 1 m Länge sind im gesetzlich geregelten Bodenschutzbereich nicht erlaubt.

Die repräsentative Mindestprobenmenge wird üblicherweise nach dem Größtkorn gemäß DIN 18123 (Baugrund; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Größtkornverteilung) festgelegt (Tabelle 11):

Tabelle 11: Repräsentative Mindestprobenmenge nach dem Größtkorn gemäß DIN 18123

Größtkorn der Probenmenge in mm	Mindest-Probenmenge in g
2	150
5	300
10	700
20	2.000
30	4.000
40	7.000
50	12.000
60	18.000

Sprengstoffbelastete Böden sind aufgrund der Struktur der Sprengstoffe als Partikel oder kristalline Ausfällungen, z. B. nach Detonation, Deflagration oder Ausfällung sehr inhomogen belastet. Umso größer die Probenmenge ist, desto größer ist die Repräsentativität. Die Rammkernsondierung hat technisch bedingte Grenzen bezogen auf die Probenmasse. Die gewinnbare Probenmasse ist abhängig vom Durchmesser der Rammkernsonde (Tabelle 12).

Tabelle 12: Gewinnbare Probenmasse ist abhängig vom Durchmesser der Rammkernsonde

Außendurchmesser RKS (mm)	Gewinnbare Probenmenge (kg)
80	4 - 4,5
60	1,5 – 2
50	ca. 1

Die Wahl des Sondendurchmessers hängt auch von der maximalen Korngröße des Bohrgutes an. Im Bodenschutzbereich sollte der Bohrkern Durchmesser mindestens das Fünffache des Größtkorns erreichen. Im Abfallbereich ist es das Dreifache.

Das Bohrverfahren an sich ist bezogen auf die Repräsentanz ungeeignet, wenn es zu mehr als 20 % Nachfall, Kernverlust bzw. Stauchung kommt.

Die Sonden müssen sauber sein. Gegebenenfalls werden sie mit einem Lappen, Wasser oder anderen geeigneten Reinigungsmitteln von Verunreinigungen befreit. Durch sauber halten der Sonden bei jedem Bohrmeter und Bohransatz wird Schadstoffverschleppung bei den folgenden Bohrungen vermieden. Es sind auch die Verunreinigungen im geschlossenen Sondenabschnitten zu beseitigen.

Werden Kernfänger in den Sonden benötigt, sind diese auf Funktionstüchtigkeit zu überprüfen und ggf. einzubauen. Dazu ist die Schneidkrone der Sonde ab- und anzubauen.

Ist die Verwendung von Linern oder Kunststoffschläuchen (Schlauchkernverfahren) notwendig, ist die Schneidkrone zu entfernen, der Liner einzubauen und die für dieses Verfahren vorgesehene Schneidkrone aufschrauben.

Sämtliche Gewinde der Sonden, Verlängerungsstangen und Adapter sind auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen und ggf. auszutauschen bzw. mit der Drahtbürste zu

reinigen und nur bei zwingender Notwendigkeit mit lösungsmittelfreien Gleitmitteln zu behandeln. Die Gewinde sind mit einem Innensechskantschlüssel festzuziehen.

Der Bereich von 0,5 x 0,5 m um den Boransatzpunkt sollte eben sein, um ein gutes Widerlager für die Zieheinrichtung zu bilden. Um unnötigen Nachfall in das Bohrloch zu vermeiden, sind lockere Sedimente am Bohransatzpunkt zu entfernen oder zu sichern.

Zum Ablegen der gefüllten Sonde nach dem Bohrvorgang ist eine ausreichend große Kunststoff-Plane in ausreichender Entfernung vom Bohrloch auszulegen. Auf diese Plane sind zwei Böcke, auf die die Sonde gelegt wird, aufzustellen. Alternativ dazu kann auch ein Tisch oder ähnliche Konstruktion dienen, die ausschließt, dass Bohrgut auf den ungeschützten Boden gelangt.

Der Stromerzeuger für den Elektrobohrhammer muss in ausreichender Entfernung und im Abwind vom Probennahmepunkt aufgestellt werden, um Querkontaminationen und gesundheitliche Beeinträchtigungen der Probenehmer durch Abgase zu vermeiden.

Bei Bohrraupen oder Bohranhängern sind diese so aufzustellen, dass deren Auspuff sich immer abwindig zum Bohrloch befindet. Optimalerweise kann ein Abgasschlauch verlegt werden.

Vor dem Einrammen der Sonde ist deren Länge samt Verlängerungsgestänge im weiteren Bohrfortschritt zu vermessen. Nur so kann exakt die Täufliefe festgestellt werden. Falsch angenommene Sondenlängen und zu tief eingeschlagene Sonden können im Zusammenhang mit falsch abgeschätzten Stauchungen der Horizonte zu erheblichen Fehlern führen.

Das Übergangsschlagstück, die Verlängerungsgestänge und die Sonde müssen immer fest aufeinander geschraubt werden, sonst kommt es zum Ausschlagen der Gewinde und zum Brechen der Gewindenippel. Die Sonde muss möglichst senkrecht angesetzt und eingerammt werden. Sie ist nie tiefer als bis zur Unterkante der Schräge des Schlitzes in den Boden zu rammen. Bei Nachfall wird dieser ggf. über diese Schräge seitlich verdrängt. Das führt aber zu nicht abschätzbaren Stauchungen im Kernrohr. Aus Arbeitsschutzgründen und zur Bohrwerkzeugschonung sollte der Bohrhammer mit seinem Eigengewicht schlagen. Es darf also nicht zusätzlicher Druck ausgeübt werden. Weiterhin sollte das Gestänge frei und zentriert im Bohrloch stehen. Durch Drehen des Bohrhammers während der Bohrung sollten bei gelockerten Gewindeverbindungen diese nachgezogen werden.

Der Bohrräteführer achtet auf den Bohrfortschritt sowie die erreichte Tiefe der Bohrung. Bei Bohrhindernissen - ein Bohrfortschritt ist über einen Zeitraum von 2 Minuten nicht erkennbar - wird die Bohrung abgebrochen und an anderer Stelle erneut angesetzt.

Nach Erreichen der gewünschten Teufe bzw. des Teufenabschnittes sollte die Sonde erst gezogen werden, wenn der Arbeitsplatz des Probenehmers fertig eingerichtet ist, so dass dieser die Probennahme und Bodenansprache sofort beginnen kann.

Das Ziehen der Sonde kann wahlweise mit dem mechanischen oder mit dem hydraulischen Ziehgerät erfolgen. Die Vor- und Nachteile von maschinellen und mechanischen Zieheinrichtungen heben sich gegenseitig fast auf. Bei mechanischen Zieheinrichtungen kommt es besonders bei trockenen feinen Sanden zu erheblichen Problemen. Diese können überwunden werden, wenn man den Bohrerhammer auf das Gestänge aufbaut und leicht schlagen lässt. Das gleiche Herangehen funktioniert auch beim Lösen zu fester Schraubverbindungen, insbesondere im Übergang vom Gestänge zur Sonde, an der sich schlecht Schlüssel ansetzen lassen. Die Verwendung des mechanischen Ziehgerätes ist in der Regel in schwer zugänglichem Gelände einfacher und somit in diesem Falle vorzuziehen. Das hydraulische Ziehgerät ist zu verwenden, wenn der Einsatz des mechanischen Ziehgerätes nicht möglich ist, z. B. wenn die Sonde zu fest im Boden steckt (bei Feinsanden oder Kiesen) oder wenn am Probennahmepunkt nicht ausreichend Platz für das Aufstellen des mechanischen Ziehgerätes vorhanden ist.

Hinweise zur Verwendung des mechanischen Ziehgerätes:

Nach dem Entfernen des Übergangsschlagstückes ist das Ziehgerät über das Bohrloch zu platzieren. Eine Verlängerungsstange muss durch das Ziehgerät auf die Sonde in die Verlängerungsstange im Bohrloch geschraubt werden. Die passende Kugel- oder Backenklemme ist über die Stange zu setzen, die beiden Ziehstangen sind in die dafür vorgesehenen Öffnungen zu stecken und anschließend ist die Sonde mit dem Gestänge aus dem Boden zu hebeln. Die Sonde muss vorsichtig mit möglichst gleichmäßig verlaufenden Bewegungen aus dem Boden gezogen werden, um Kernverluste oder Materialnachfall im Bohrloch zu vermeiden. Die einzelnen Verlängerungsstangen werden mit Hilfe der Maulschlüssel vom folgenden Gestänge gelöst und abgeschraubt. Dabei sind ruckartige Bewegungen, die zu Kernverlusten führen können, zu vermeiden. Erreicht die Sonde das Ziehgerät, muss die Kugel- bzw. Backenklemme gewechselt werden.

Hinweise zur Verwendung des hydraulischen Ziehgerätes:

Zur Gewährleistung der Standfestigkeit des Hebezyinders ist zunächst ein stabiler Unterbau um das Bohrloch zu errichten (z. B. Stahlplatte). Auf diesen Unterbau ist der Hebezyinder mit dem Unterteller zu setzen. Die beiden Schläuche müssen mit dem Hydraulikteil verbunden werden. Verlängerungsstange sind durch den Hebezyinder auf die Sonde im Boden aufzuschrauben und es sind passende Kugel- oder Backenklemme über die Stange zu setzen. Das Hydraulikgerät dann starten. Für den Ziehvorgang stehen in der Regel zwei Gänge zur Verfügung. Um die Sonde vorsichtig im Bohrloch zu lösen, zunächst den kleinen Gang verwenden. Lässt sich die Sonde leicht heben, kann zum Schnellgang gewechselt werden.

Die einzelnen Verlängerungsstangen werden mit Hilfe der Maulschlüssel vom folgenden Gestänge gelöst und angeschraubt. Dabei sind ruckartige Bewegungen oder Schläge, die zu Kernverlusten führen können, zu vermeiden. Erreicht die Sonde das Ziehgerät, muss die Kugel - bzw. Backenklemme gewechselt werden.

Ist die Sonde gelöst, kann sie vorsichtig aus dem Bohrloch gezogen und auf die Böcke über der Kunststoff-Plane gelegt werden. Dabei ist darauf achten, dass kein Bodenmaterial aus der Sonde fällt.

Vor einer Neuverwendung sind Sonden und Verlängerungsstangen gründlich zu reinigen. Die Reinigung erfolgt mit einem sauberen Lappen und/oder Bürste, ggf. unter Verwendung von Leitungswasser bei Verschmutzung durch anhaftenden Boden. Bei Verunreinigungen durch Kohlenwasserstoffe oder ähnliche Fluide kann die Reinigung mit einem sauberen acetongetränkten Lappen erfolgen. Rammkernsonden, die mit leichtflüchtigen Verbindungen verunreinigt worden sind, können auch mit einem Heißluftgebläse ausgeheizt werden.

Bodenansprache

Wenn eine Untersuchung leichtflüchtiger Substanzen vorgesehen ist, erfolgt unmittelbar nach dem Ablegen der Sonde zunächst die Probennahme. Erst danach werden die Bodenansprache und die übrigen Probennahmen ausgeführt.

Vor der Bodenansprache wird der Bohrkern quer zur Sonde abgeschnitten und auf Stauchungen, Nachfall und Kernverlust überprüft. Bei mehr als 20 % Kernverlust, Stauchung oder Nachfall ist die Bohrung entweder zu wiederholen oder im Schichtenverzeichnis und später im Bericht ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass die 20 % Kernverlust, Stauchung oder Nachfall überschritten wurden.

Stauchungen, Nachfall, Kernverlust sind generell mit anzugeben. Entsprechend sind diese auf die Schichten umzurechnen und bei der Angabe der Schichtmächtigkeiten zu berücksichtigen. Die Bohrkern sollten fotodokumentiert werden. Dabei sollte mindestens eine Aufnahme unter Naturlichtbedingungen und eine Aufnahme mit Blitzlicht angefertigt werden. Dabei ist ein Maßstab anzulegen, der auch auf den Fotos noch deutlich ablesbar sein muss. Weiße und reflektierende Anstriche sind deshalb nicht besonders geeignet.

Die Bodenansprache erfolgt entsprechend den Forderungen der BBodSchV mit der Bodenkundlichen Kartieranleitung bzw. der Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz ggf. in Verbindung mit der Baugrundnormung [AD-HOC-ARBEISGRUPPE BODEN, 2005, 2009]. Die inhaltlichen Mindestanforderungen bei der Bodenansprache sind in der Tabelle „Empfohlene Datensätze“ für Aufgaben des Vollzugs von BBodSchG und BBodSchV für die jeweiligen Anwendungsfälle dargestellt. Die Ansprache der Bodenfarbe ist entsprechend der Anforderungen des Moduls Boden und Altlasten [LABO, 2000] mit der Munsell-Farbtafel durchzuführen. Alternative Farbtafeln, wie

die bisher einzige von Eijkelkamp, die die Munsell-Farben enthalten werden behördlich akzeptiert.

Zusätzlich kann der Symbolschlüssel Geologie für Kürzel genutzt werden. Eigene Abkürzungen sollten unbedingt zu Gunsten von Klartext vermieden werden.

Für die elektronische Ablage und Darstellung in Schichtenverzeichnissen existieren derzeit noch keine befriedigenden, geschweige denn kostengünstigen Lösungen. Die behördliche Lösung **SEP** und **SEPWIN** wurde zu Gunsten des kommerziellen **GeODin** (ab Version 6) eingestellt.

Probennahme

Die Beprobung richtet sich nach dem im Vorfeld festgelegten Beprobungsintervall. Grundsätzlich werden schichtenweise, mindestens jedoch meterweise Proben entnommen.

Für die Probennahme wird nur Bodenmaterial aus der Mitte des Kerns verwendet. Der Randbereich an der Sonde (ca. 0,5-1 cm) wird verworfen.

Die Probe (auf nicht leicht flüchtige Stoffe) muss den zu beprobenden Bereich durchgehend enthalten. Die Entnahme der Proben erfolgt mit einem Spatel oder Löffel aus inertem Material (mindestens bezogen auf die Untersuchungsparameter). Bei bestimmten Erfordernissen, wie zum Beispiel bei erforderlichen funkenfreien Arbeiten, kann die Verwendung von Kunststoff, Horn- oder Holzspateln notwendig sein. Die Probe wird zunächst aus der Sonde in eine saubere, inerte Schüssel (bei STV z. B. aus Edelstahl) gefüllt. In der Schüssel durchmischt man das Probenmaterial bestmöglich. Im Probengut enthaltene Fremdkörper mit einem Durchmesser > 2 cm und Sprengstoffstücke werden aussortiert und gesondert aufbewahrt. Die Abtrennung muss im Probennahmeprotokoll vermerkt werden. Die Bestimmungen des SprengG sind dabei zu beachten. Die Separation der Kornfraktion > 2 mm sowie die Bestimmung deren Massenanteils (Trockenmasse) erfolgt im Labor. In diesem Fall ist darauf zu achten, dass die doppelte Mindestmenge für eine repräsentative Probe entnommen werden muss.

Ist eine Verjüngung der Probe auf das erforderliche Maß notwendig, so sollten einheitliche Methoden, wie beispielsweise das fraktionierende Schaufeln oder die Mischkreuzmethode angewendet werden.

Danach werden die Probengefäße randvoll verdichtet gefüllt und luftdicht verschlossen. Entsprechend der Aufgabenstellung und der Art der Kontamination wird entweder Klarglas oder Braunglas verwendet. Für STV-Untersuchungen sollten Braunglasflaschen verwendet werden. Die Größe der Probengefäße ist so zu wählen, dass sie gestrichen voll und verdichtet gefüllt werden können. Es sollte generell vermieden werden, dass ein Luftraum im Gefäß besteht oder sich durch die Rüttelbewegungen beim Transport bildet. Der Verschluss der Probengefäße muss absolut dicht und bezogen auf die Untersuchungsparameter inert

sein. Die zusätzliche Abdichtung mit Aluminiumfolie hat sich in der Praxis nicht bewährt. Gut für die Gefäßabdichtung ist Parafilm.

Zur Untersuchung von leichtflüchtigen Stoffen bei Rammkernsondierungen wird mittels eines Probenstechers (z. B. abgeschnittene Spritze oder ein Edelstahlkorkenbohrer mit Stößel) eine Probe aus dem Bohrkern entnommen und in ein Head-Space-Glas überführt. Dabei wird nur ein Einstich durchgeführt. Für ein 20 ml Head-Space-Glas reichen ca. 10 g Boden aus. Das entspricht einer Füllhöhe in Head-Space-Glas von etwa 1,5 cm. Die Probe wird sofort mit ca. 10 ml geeignetem Lösungsmittel überschichtet. Das Gefäß wird unverzüglich mit einem Deckel mit geeignetem Septum gasdicht verschlossen. Dafür steht eine entsprechende Zange zur Verfügung. Es gibt auch besser geeignete Gefäße mit Schraubdeckel. Bei Head-Space immer eine Doppelprobe pro Parameter (z. B. BTEX, LHKW usw.) entnehmen.

Für die Probennahme auf leichtflüchtige Stoffe werden im zunehmenden Maße wesentlich besser handhabbare Schraubdeckelfläschchen mit bereits genau dosierten Lösungsmittel verwendet. Auch hier werden ca. 10 g Probematerial, das mit dem Probenstecher entnommen wurde, abgefüllt und sofort abgedeckelt. Eine doppelte Probennahme ist hier nicht nötig, da im Labor die vorbereitete Probe geteilt werden kann. Bei Head-Space kann ein Gefäß nur einmal gemessen werden.

Die Proben werden mit Etiketten eindeutig gekennzeichnet. Es sollte mindestens die Probennummer, der Probenehmer, die Firma, das Probennahmedatum und der Probennahmezeitpunkt vermerkt werden. Man sollte mindestens zwei Merkmale auf den Etiketten haben, mit denen die Proben identifiziert werden können.

Die Proben sind schnellstmöglich in Kühlboxen gekühlt und abgedunkelt zu lagern.

Mit geeignetem Dämmaterial werden die Gefäße untereinander und zu den Kühlakkus gegen Bruch gesichert. Es ist zu vermeiden, dass die Proben über längere Zeit Temperaturen über 5°C und dem Sonnenlicht ausgesetzt sind.

Proben mit hohen Sprengstoffgehalten ab 5 Vol% (nach [Trommsdorf, 2007] ist eine Explosionsgefahr unter Umständen möglich) sind entsprechend den Erfordernissen des SprengG zum Labor zu verbringen. Die Verpackung der Probenflaschen erfolgt in Holzkisten. Die Probenflaschen dürfen sich nicht berühren. Die Zwischenräume sind mit gesiebttem Sand zu verfüllen.

Sämtliche Proben müssen schnellstmöglich dem Labor aktenkundig übergeben werden. Dazu ist im Probennahmeprotokoll ein Vermerk über den Übergabezeitpunkt zu führen.

Die Bohrstelle ist mindestens so zu verlassen, wie sie vorgefunden wurde. Das überschüssige Bohrgut ist zu entsorgen. Das Bohrloch ist zu verfüllen und der Bohransatzpunkt ist zu kennzeichnen. Die Bohrlochverfüllung muss mit kontaminationsfreien

Boden, Quellton und Beton erfolgen. Der Quellton muss mindestens über die gesamte Strecke von Stauer-Schichten (ab Ls / Ts) verfüllt werden. Beton schließt das Bohrloch ab. Zur besseren Auffindung des Bohrlochs kann dieses mit einem Eisenstift, Nagel oder der gleichen im Betonpropfen und einem Holzpflock gekennzeichnet werden.

5.1.4 Handbohrungen

Handbohrungen werden mittels Rillenbohrern, Flügelbohrern, Bohrschappen, Marschläffeln, Spiralbohrern usw. niedergebracht.

Rillenbohrer sind im Bodenschutzbereich aufgrund ihrer doch geringen Bohrkerndurchmesser nur zur groben Vororientierung und nicht zur Probennahme geeignet. Die Rillenbohrer werden meterweise senkrecht eingeschlagen. Danach erfolgen zwecks Bohrgutabscherung eine bis zwei Rechtsdrehungen des Bohrgestänges, bevor es gezogen wird. Nach Abstreifen des Bohrgutes kann es beurteilt werden.

Die Flügelbohrer, Bohrschappen und Spiralbohrer werden mit leichtem Druck in den Boden geschraubt. Es ist hilfreich den lockeren oder fein durchwurzeltten Oberboden vorher auszustechen. Wenn der Bohrgutraum gefüllt ist, wird der Bohrer auf eine geeignete Unterlage, z. B. Folie, der Reihe nach entleert. Hier kann dann, so weit möglich, die Bodenansprache und Probennahme durchgeführt werden.

Für pastöse oder moorige Böden kann man Marschläffel oder Flügelscherbohrer verwenden. Diese Bohrer werden, so lang wie die Bohrgutkammer ist, eingedrückt, geschlossen und gezogen. Das Schließen und Bohrkernabschere erfolgt je nach Bauart durch Einschieben eines Blechs oder durch eine Drehbewegung um 180°. Die Kerne können ebenfalls auf einer geeigneten Unterlage zur Ansprache und Probennahme ausgelegt werden.

Die weiteren Probennahmeschritte unterscheiden sich nicht von denen der Rammkernsondierung.

5.1.5 Schurfe

Schurfe sind das optimalste Mittel zur Erkundung von Bodenbelastungen mit Sprengstoffen. Es lassen sich so ausgesprochen gut Sprengstoffbrocken oder Auskristallisationen bei den Schurfarbeiten und in der Profilwand erkennen. Es sind mit dieser Aufschlusstechnologie auch große Mengen an Probenmaterial gewinnbar. Als Schurf werden in der Erkundungspraxis verschiedene Varianten von Bodeneingriffen von Hand oder mit Technik, wie Bagger oder Radlader, verstanden. Oft werden nur flache, spatenstichtiefe Löcher oder

Gräben angelegt. Zum Zwecke der Erkundung größerer und tieferer Bodenbereiche, z. B. verfüllte Sprengtrichter, Müllgruben, Kühlschikanen, Abwasserleitungen usw. oder von Haufwerken erfolgen oft Baggerschurfe (mit Schutzverglasung und Stahlplatte im Führerhausboden).

Schurfe im bodenkundlich klassischen Sinne sind von Hand angelegte Gruben, nicht tiefer als 15 dm, da sonst ein technischer Verbau nach DIN 4124 und DIN ISO 10381-3 nötig ist. Diese Gruben sind an der Profilwand mindestens 8 dm breit. Die Länge sollte so bemessen sein, dass der Bodenkundler gut ein- und aussteigen kann. An den Ausstieg für Kleinsäuger, Amphibien, Insekten usw. ist auch zu denken. Die Lage der Profilstelle sollte so sein, dass während der Ansprache und Probennahme ausreichend Licht vorhanden ist. Das liegt aber auch im Ermessen des Bodenkunders. Manche wünschen es lieber, dass die Profilstelle sich im Schatten befindet, andere brauchen viel Licht. In der prallen Sonne kann das Profil schneller austrocknen und z. B. Farb- und Gefügeänderungen hervorrufen. Die Bodenfarbe sollte auch nicht in der prallen Sonne angesprochen werden. Der ausgehobene Boden muss auf einer Folie seitlich der Grube abgelegt werden. Der humose Oberbodenhorizont ist separat zu lagern. Zwischen Aushub und Schurf ist so viel Platz zu lassen, dass der Bodenkundler seine Arbeitsgeräte und Dokumente am Grubenrand gut ablegen kann. Der Bewuchs an der Profilstelle ist so zu belassen, wie er vor den Schurfarbeiten vorgefunden wurde. Auf keinen Fall darf Boden in Richtung Profilstelle abgelagert werden. Beim Verfüllen sollten dieser wieder oben auf eingebaut werden. Steht der Schurf länger offen, muss dieser gesichert werden.

Vor der Probennahme wird das Profil sauber abgeschärft. Proben auf leichtflüchtige Stoffe werden analog der Rammkernsondierung sofort entnommen. Es werden die Proben von der Profilstelle ausgehend entnommen. Es können gestörte Proben als Mischproben bis hin zu ungestörten Proben mit Stechzylindern oder Stechrahmen entnommen werden. Die Stechzylinderproben können sowohl horizontal als auch vertikal entnommen werden. In der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 sind noch weitere Entnahmearten aufgeführt, die deshalb nicht weiter hier erläutert werden müssen [AD-HOC-ARBEISGRUPPE BODEN, 2005]. Bei tiefen Schurfen, die aus Arbeitsschutzgründen nicht betreten werden dürfen, kann mittels der Baggerschaufel Probengut gewonnen werden. Es sollten die ersten 5 bis 10 cm abgestriffen und dann möglichst die gesamte Tiefe des Schaufelinhaltes beprobt werden. Dafür kann man Schaufel, Stechrohr, Handbohrer usw. einsetzen. Dabei ist die bei der Rammkernsondierung beschriebene Größtkornregel zu beachten. Bei Untersuchungen im abfallrechtlichen Bereich muss der Bohrerndurchmesser nur das 2 bis 3 fache der Größtkomponenten mit einem Anteil von > 5% des zu beprobenden Materials haben (LAGA PN 98) [LAGA, 2001].

5.1.6 Ferngesteuerte Bohrungen

Fernsteuerbare Bohrgeräte werden vorwiegend bei der Untersuchung in der Kampfmittelräumung eingesetzt. Es handelt sich um Spezialanfertigungen (Abbildung 35). Für Zwecke der Bodenerkundung müssen diese noch weiter umgebaut werden.

Es besteht bei der Erkundung von sprengstoffbelasteten Geländen, insbesondere bei Verdacht auf Initialsprengstoffe, Pikrate und große Mengen reinen Sprengstoffs im Boden die Notwendigkeit, Bohrgeräte fernzusteuern. Neben der Fernsteuerung wird eine Videoüberwachung installiert (Abbildung 36). Diese muss auf das Bohrloch ausgerichtet sein, um den Bohrvorgang unmittelbar überwachen zu können.



Abbildung 35: Funkfernsteuerung mit Monitor

Abbildung 36: Videoüberwachte

funkferngesteuerte Bohrung im
Initialsprengstoffbunkerbereich

Rammkernsondierungen schließen sich hier aus. Es wird in den meisten Fällen mit Vollbohrschnecke gebohrt. Diese wird so in den Boden eingedreht, dass das Bohrgut nicht in den Schneckengängen gefördert wird, um Schichtverschleppungen zu vermeiden. Dazu muss das Bohrloch beobachtet werden, um zu überwachen, dass kein Bohrgut aus dem Bohrloch gefördert wird. Sollte das der Fall sein, muss die Drehzahl herabgesetzt und der Druck auf das Bohrgestänge erhöht werden. Man erreicht schnell die technischen Grenzen des Bohrgerätes, da der Energieaufwand für das Eindrehen der Bohrschnecke sehr hoch ist. Auch das Ziehen des Gestänges ist mit erheblichem Energieaufwand verbunden. Man kann schrittweise vorgehen (einbohren, ziehen, ausbauen, ansprechen, beproben, reinigen,

einbauen, tiefer bohren usw.) oder am Stück bis zur geplanten Endteufe bohren. Letzteres Verfahren ist am energieaufwändigsten.

Die Bodenansprache und Probennahme erfolgt an der Bohrschnecke. Die Schnecke wird auf eine ebene Fläche gelegt oder stehend bearbeitet. Es werden die ersten ein bis zwei cm Bohrgut verworfen und die Probe aus dem Kernbereich des Schneckenganges entnommen. Die Schichtgrenzenermittlung ist durch die Gefügeänderung, verursacht durch den Bohrvorgang, sehr erschwert.

5.2 Wasserprobennahme (Grundwasser, Schichtenwasser, Oberflächenwasser, Abwasser)

5.2.1 Allgemeine Vorbereitung

Zur Planung und Vorbereitung der Probennahme gehört neben den unter 5.1.2 beschriebenen Maßnahmen die Einholung wichtiger Informationen über die Grundwassermessstellen (GWMS), die Lage der Probennahmestellen und deren Erreichbarkeit.

Um eine Verwechslung der GWMS zu vermeiden und die Zuwegungen zu sichern, ist ein Lageplan zu beschaffen, in dem diese mit ihrer Bezeichnung erfasst sind. Sollte das nicht möglich sein, so ist bei der Probennahme eine Lageskizze zu erstellen. Es ist bei größeren Probennahmemaßnahmen ratsam, die Probennahmestellen vorher, z. B. im Rahmen einer Stichtagsmessung aufzusuchen, um die Lage, den Zustand, die Zugänglichkeit zu prüfen.

Soweit möglich sind Informationen einzuholen, in welcher Tiefe die Filterstrecken eingebaut sind. Sind die Ausbaudaten und die Schichtenverzeichnisse zu den Messstellen nicht mehr vorhanden, so ist weder eine fachgerechte Probennahme noch eine fachlich saubere Interpretation der Untersuchungsergebnisse möglich. Durch geophysikalische Messmethoden kann ein Ausbauplan nachträglich erstellt werden.

Durch die Informationen zum Messstellenausbau kann das auszutauschende Wasservolumen durch Packereinsatz gering gehalten werden. Damit erreicht man auch nach relativ kurzer Abpumpzeit konstante Temperatur-, pH- und Leitfähigkeitswerte. Weiterhin sollte aus dem Ausbauplan hervorgehen, wie die GWMS verschlossen ist (Sebakappe, Pegelkasten, Unterflurkappe, Klemmkappe etc.), um vor Ort die Messstelle mit geeigneten Schlüsseln öffnen zu können.

Sehr wichtig sind Informationen, inwieweit mit evtl. Kontaminationen zu rechnen ist. Sollte dies der Fall sein, so muss der Arbeitsschutz und die Entsorgung des kontaminierten Wassers vorbereitet werden. Es ist die Reihenfolge der Probennahme von den gering zu den hoch belasteten GWMS zu planen.

Die Blindwertfreiheit der Grundwasserentnahmeeinrichtung muss nachgewiesen sein.

5.2.2 Grundwasserprobennahme

Die Probennahmestelle ist so einzurichten, dass durch Querkontaminationen über Wind oder andere Umstände die Proben nicht beeinträchtigt werden können. Fahrzeug und Stromaggregat sind an der windabgewandten Seite der Probennahmestelle aufzustellen.

Alle Gerätschaften sind so vorzubereiten und aufzustellen, dass eine zügige Probennahme gesichert ist. Pumpe, Steigrohre, Schläuche und andere Gegenstände, die mit dem Grundwasser bzw. der Probe in Berührung kommen, dürfen nicht auf den Boden liegen. Die Vor-Ort-Messgeräte müssen vor der Probennahme am selben Tag kalibriert und geprüft worden sein. Darüber sind Kontrollkarten zu führen. Während der Probennahme müssen Zwischenprüfungen und Kalibrierungen möglich sein. Deshalb sind alle dafür notwendigen Kontroll- und Kalibrierlösungen bei der Probennahme mitzuführen.

GWMS können auf verschiedenste Weise vor Verschmutzung und Vandalismus geschützt sein. Die häufigsten Verschlussarten, zum Teil kombiniert, sind im Folgenden aufgeführt:

- **Sebakappen:** Mit einem 5 mm Inbusschlüssel wird die Kappe gelockert und kann anschließend nach oben geklappt werden.
- **Unterflurausbau:** Der Deckel kann mit einem Pegelhaken nach oben abgehoben und anschließend zur Seite gedreht werden. In einigen Fällen ist es möglich, dass der Deckel mit Konterhaken gegen unbefugtes Öffnen geschützt ist. In diesem Fall müssen vorher mit einem Vierkant-Steckschlüssel die Konterhaken nach innen gedreht werden, bevor der Deckel abgenommen werden kann. Darunter befindet sich das Rohr der GWMS mit Schraub- oder Sebakappe.
- **Klemmkappen:** Diese werden meistens bei Stahlschutzrohren oder bei GWMS-Abschlüssen aus Stahl angewendet. Eine Schraube klemmt den Deckel am Rohr fest. Durch Lösen der Schraube (entweder mit einem 5 mm Inbusschlüssel oder einem Sechskant-Steckschlüssel (13, 15 oder 17 mm) ist der Deckel nach oben hin abzuziehen.
- **Pegelkästen oder Kappen mit Schloss:** Die Schlüssel sind vom Eigentümer zu beschaffen. In Pegelkästen sind manchmal Messeinrichtungen installiert. Wie diese aus- und wieder einzubauen sind, ist beim Eigner zu hinterfragen.

Die Bestimmung des Grundwasserstandes erfolgt vor dem Abpumpen (und wenn möglich, während des Abpumpens bzw. zum Zeitpunkt der Probennahme) und nach der Probennahme zur Verfolgung des Wiederanstieges des Grundwassers nach dem

Abpumpen. Sie wird mit Hilfe eines Kabellicht- oder Akustiklotes durchgeführt. Das Lot wird soweit ins Pegelrohr abgelassen, bis die Kontrolllampe aufleuchtet oder das Signal ertönt. Mit Hilfe der Maßeinteilung am Kabel wird der Grundwasserstand bis zur Oberkante des Pegelrohrs (ROK) gemessen (durch Auflegen eines Lineals auf die Pegelmündung ist ein millimetergenaues Ablesen möglich). Es ist zu beachten, dass Wassertropfen am Kontaktpol die Ablesung verfälschen können – es zählt nur das Eintauchsignal. Der Grundwasserstand unter Rohroberkante wird ins Probennahmeprotokoll eingetragen (erforderlichenfalls Umrechnung auf die Geländehöhe).

In Sprengstoffwerken oder auf Rüstungsaltslasten gehen nicht selten mit Verunreinigungen durch STV auch starke Belastungen mit Kohlenwasserstoffen und BTEX einher. Damit ist mit dem Auftreten einer Fluidphase (z. B. Öl) auf dem Grundwasser zu rechnen. Sollte nach dem Herausziehen des Lichtlots Verunreinigungen festgestellt werden, die auf die Anwesenheit einer Fluidphase hindeuten, ist mittels eines Ölschichtmeßhebers oder Phasenmessgerätes zu prüfen, ob eine Phase vorliegt. Sollte dies der Fall sein, unterbleibt der Einbau der Pumpe. Der Auftraggeber ist zu unterrichten, dass eine Probennahme ohne besondere Vorkehrungen nicht möglich ist. Die Beobachtungen sind im Probennahmeprotokoll zu vermerken.

Aus der Ausbauezeichnung ist ersichtlich, in welcher Tiefe sich die Filterstrecke befindet. Beginnt die Filterstrecke unterhalb des Grundwasserstandes, so ist die Pumpe einen Meter unterhalb der Oberkante der Filterstrecke einzubauen. Beginnt die Filterstrecke oberhalb des Grundwassers, so wird die Pumpe einen Meter unterhalb der förderstrombedingt maximalen Absenkung des Grundwasserspiegels eingebaut. Bei Untersuchungen auf Verbindungen, die schwerer als Wasser sind, ist die Pumpe 1 m über Grund einzubauen. Das gilt nur, wenn keine ausdrücklichen Forderungen zur Einbautiefe durch den Auftraggeber gemacht wurden. Die Einbautiefe ist im Probennahmeprotokoll zu vermerken.

In den gesetzlich geregelten Bereich Boden- und Grundwasserschutz sind regelbare Unterwassertauchpumpen gefordert. Diese Forderung erfüllt bis auf wenige Prototypen die Grundfos MP1. Es werden aber auch nicht regelbare Unterwasserpumpen anderer Hersteller eingesetzt. Dazu gehören die Komet-Pumpen, die mit geringerer Förderleistung, aber dafür mit weniger Aufwand betrieben werden können.

Die Grundfos MP1 wird mit Steigrohren aus PE-Material geliefert. Sie kann aber auch an andere Steigrohre (z. B. Eigenbau aus HDPE oder V2A-Stahl) angeschlossen werden. Schlauchmaterial (z. B. aus HDPE oder Teflon) kann ebenfalls genutzt werden. Es ist dabei die Forderung zu beachten, dass die Entnahmeeinrichtung sich unmittelbar am Brunnenkopf befinden muss. Deshalb werden meistens Steigrohre eingesetzt. Die Steigrohre werden an die Pumpe geschraubt, bis die gewünschte Einbautiefe erreicht ist. Bei Einbautiefen über 10 m sollte ein Stahlseil zur Sicherung der Pumpe angebracht werden. Wenn mit der MP1

GWMS größer als 2“ beprobt werden, ist eine spezielle Überwurfhülse über die Pumpe zu montieren. Diese bewirkt eine Zwangsführung des Pumpwassers, da die Pumpe mit diesem gekühlt werden muss. Zum Fixieren der Pumpe in der gewünschten Tiefe wird das Steigrohr mittels einer Rohrschweißer-Gripzange festgeklemmt. Auf das Rohr wird dann der Rohrbogen mit Verteilerventilen geschraubt, an dem der Probennahmeschlauch und der Ableitungsschlauch angeschlossen werden. Der Ableitungsschlauch wird mit der Durchlaufmeßzelle mit darin fixierten Temperatur-, Sauerstoff-, pH-Wert-, Leitfähigkeitswert- und Redoxpotentialwert-Sonden verbunden. Dabei ist zu beachten, dass die Messsonden frei angeströmt werden. Sie dürfen nicht unter Druck stehen, da es dabei zu fehlerhaften Messwerten kommen würde. Danach wird die Pumpe an den Frequenzwandler angeschlossen. Erst danach wird der Frequenzwandler mit der Spannungsquelle (Netzstrom 220 V oder Notstromaggregat) verbunden.

Nachdem die Pumpe eingebaut ist, wird der Pumpvorgang gestartet. Die Pumpe darf niemals leer laufen (Gefahr des Durchbrennens). Bei zu erwartenden stark kontaminierten Wässern wird über einen Schlauch das Wasser in Fässern aufgefangen. Die Startzeit wird im Probennahmeprotokoll festgehalten. Die Pumpleistung ist so zu wählen, dass die Wassersäule maximal 1/3 des Rohrwasserstandes und nicht mehr als 1 Meter abgesenkt wird. Die Pumpdauer sollte mindestens 15 Minuten bei um 10 l/min betragen. Die Fördermenge wird mittels Messgefäß und Stoppuhr oder mit einer Wasseruhr (die oft gegen Sand sehr anfällig ist) gemessen. Die Abpumpdauer bis zur Probennahme wird im Probennahmeprotokoll festgehalten. Ebenfalls wird der Förderstrom protokolliert. Während des Pumpvorganges werden die Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt und Redox-Spannung beobachtet. Diese sind alle 5 min mit den organoleptischen Befunden (Färbung, Trübung, Bodensatz und Geruch) des geförderten Wassers im Probennahmeprotokoll aufzuzeichnen. Wenn möglich, ist die Absenkung des Grundwasserspiegels im Brunnen zu messen und zu dokumentieren.

Für den optimalen Probennahmezeitpunkt wird normativ vorgegeben, dass sich im Zeitraum von 5 min die Temperatur- und pH-Wertänderung nicht mehr als 0,1 und die Leitfähigkeitsänderung nicht mehr als 1 % ändern sollten. Weiterhin muss mindestens das 2-fache des Ringraumvolumens ausgetauscht worden sein.

Sind die Meßwerte konstant, wird der zweite Ventilhahn für den Probennahmeschlauch so geöffnet, dass bei der Beprobung Turbulenzen beim Abfüllen der Probenflaschen soweit wie möglich vermieden werden. Das ist bei einem Durchfluss von kleiner 1 l/min der Fall. Der tatsächliche Durchflusswert muss ermittelt und im Probennahmeprotokoll vermerkt werden. Die Förderleistung der Pumpe darf für die eigentliche Probennahme nicht gesenkt werden. Für jeden Labormeißplatz ist mindestens ein Probengefäß abzufüllen. Die Flaschen sollten, wenn nicht anders vorgegeben, möglichst luftblasenfrei gefüllt und verschlossen werden.

Sind Konservierungsmaßnahmen erforderlich, können pro Messplatz auch mehrere Flaschen entnommen werden. Erst sind die Gefäße ohne Konservierungsmittel zu füllen. Beim Spülen ist die Flasche 2-3 mal halb zu füllen und zu entleeren, bevor sie endgültig gefüllt wird. Bei fluidartigen Untersuchungsparametern darf nicht gespült werden, es käme zur Anreicherung an der Glaswand und damit zu Überbefunden. Dann sollten die trocken vorgelegten Gefäße, gefolgt von den flüssig vorgelegten Gefäßen gefüllt werden. Bei Head-Space-Ampullen müssen für Doppelbestimmungen bzw. einen zweiten Ansatz immer zwei gefüllt werden. Das Labor gibt vor, wie viel eingefüllt werden darf. Allgemein werden die Ampullen zu 1/3 gefüllt (10 ml). Es kann auch vorkommen, dass das Labor wünscht, eine Ampulle blasenfrei randvoll zu füllen. Man verwendet diese als Rückstellprobe oder zur Herstellung von Verdünnungen.

Alle Konservierungsmaßnahmen sind (mit der Kennung des Parameters) bei der Berichterstattung zur Probennahme zu vermerken. Ebenso sind Besonderheiten, die bei der Beprobung einer Grundwassermessstelle beobachtet werden, im Probennahmeprotokoll aufzuzeichnen.

Die Proben sollten mindestens mit folgenden Angaben versehen werden (Probennahmestelle, Datum, Kurzzeichen des Probenehmers, Bemerkungen).

Nach der Befüllung der Probennahmegefäße erfolgt das Abschalten und der Ausbau der Gestänge und Pumpe. Nach erfolgtem Ausbau werden die Pumpe und die Steigrohre mittels eines Hochdruckreinigers möglichst abgestrahlt und in die dafür vorgesehenen Behältnisse verstaut. Bei starken Verunreinigungen der Pumpe und Rohre erfolgt entsprechend des Bodenschutzes die Abreinigung nicht vor Ort sondern im Betrieb bzw. in der Waschanlage einer Tankstelle.

Nach Abbau wird der Probennahmeplatz auf Sauberkeit und ordnungsgemäßen Verschluss der Messstelle kontrolliert.

Der Transport der Proben erfolgt gekühlt und abgedunkelt (Kühltaschen mit Kühlakkus oder elektrische Kühltasche) umgehend zum Labor. Gegebenenfalls wird mit dem Labor ein Kurierdienst eingerichtet.

5.2.3 Schichtenwasser, Porenwasser

Für die Beprobung von Wasser aus der ungesättigten Bodenzone bei Belastungen mit STV bieten sich Saugkerzen an. Sie sind im Gelände im Gegensatz zu aufwändigen Methoden wie Lysimetern oder Einbau von Drainagen, relativ einfach zu handhaben. Eine Saugkerze besteht aus einem Kunststoffrohr (meist PE oder HDPE). An der Unterseite befindet sich ein Filter, in der Regel aus Keramik oder Glas. Oben an der Saugkerze befindet sich eine Kappe

mit zwei Schlauchanschlüssen und Ventilen. Ein Schlauch reicht bis in die Keramikfilterspitze. Er dient zum Abpumpen der Wasserprobe. Der andere Ventilanschluss ist ohne Verlängerung in die Saugkerze. Über ihn wird das Vakuum angelegt.

Der Einbau der Saugkerze erfolgt passgenau in das Bohrloch. Die Hersteller bieten entsprechende Kerzen an. Dann wird ein Vakuum mittel Hand- oder Elektropumpe angelegt. Je nach Bodenfeuchte kann man bereits nach wenigen Stunden, im ungünstigen Fall nach mehreren Tagen, die ersten Proben über den langen Schlauch in ein Sammelgefäß abpumpen. Dazu sind beide Ventile zu öffnen und das Vakuum zu entspannen. Die ersten ein bis zwei Proben sollte man aufgrund von Adsorptionsprozessen am Filtermaterial noch nicht als wahren Sickerwasserwert annehmen. Die Adsorptionsprozesse hängen unter anderem mit den physikochemische Eigenschaften der Saugkerzenoberflächen (Ladungen, funktionelle Gruppen) und der Größe der spezifischen Oberfläche von Saugkerzen (s. Abbildungen von Keramik und Glas-Saugkerzen) zusammen.

Saugkerzen sollte man nur ein mal verwenden. Sollte dennoch eine Reinigung versucht werden, ist diese mit einer Blindwertkontrolle zu bestätigen.

Die Probenbehandlung und der Transport erfolgen analog der Grundwasserprobennahme. Von der Probennahme auf leichtflüchtige Stoffe ist aufgrund des Vakuums im System eher abzuraten. Man kann davon ausgehen, dass der Messwert der Probe nicht mit dem tatsächlichen Wert der Porenwässer übereinstimmt.

5.2.4 Abwasser

Bei der Planung und Vorbereitung der Probennahme sind neben den bereits benannten Maßnahmen die Besonderheiten der Anfallstellen zu beachten. Bei sprengstoffkontaminierten Bereichen, wie militärischen Liegenschaften, Sprengplätzen, bombardierten Flächen oder Sprengstoffwerken findet man Kanalisationssysteme mit Schächten, Haltungen bis hin zu Gräben und Gruben vor. Neben den spezifischen arbeitssicherheitstechnischen Problemen ist das Abflussregime zu klären. Dazu können im Vorfeld der Probennahmen Durchflussmessungen, Färbetests und Kanalbefahrungen durchgeführt (Kanal-Video) werden. Ist das System aufgeklärt, kann ein Probennahmeplan entwickelt werden.

Die Art und die Bezeichnung der Probennahmestellen müssen benannt sein. Die Bezeichnung muss Verwechslungen ausschließen. Die Probennahmestelle muss bei der eigentlichen Abwasserprobennahme an der Anfallstelle des Abwassers liegen, d. h., an dem Ort, an dem das Abwasser seinen Entstehungsbereich verlässt und an dem es noch nicht vermischt worden ist. Weitere Proben können über das Haltungsnetz bis zum Auslauf verteilt

werden, um gerade Verdünnungseffekte, zusätzliche Einleiter, Verluste usw. zu erkennen. Deshalb sind der Zeitpunkt und der Zeitraum der Probennahme sehr wichtig. Probennahmen, die sich bei Haltungssystemen über mehrere Tage hinziehen, wo es unter Umständen noch Niederschläge gibt, liefern schwer auswertbare Ergebnisse.

Die Probennahme wird in einem Probennahmeprotokoll unter Berücksichtigung der oben genannten Begleitumstände dokumentiert. Man unterscheidet bei der Probennahme zwischen einer Stichprobe und einer qualifizierten Stichprobe.

Bei der Stichprobe wird nur eine Probe entnommen. Sie wird angewendet, wenn man davon ausgehen kann, dass das Probengut sich nicht ständig ändert. Weiterhin erfolgt sie zur Untersuchung auf leichtflüchtige Stoffe.

Man unterscheidet weiterhin nach der Art der Abwasserentnahme die kontinuierliche und diskontinuierliche Methode. Nach der Art der Probennahme unterscheidet man zeitabhängige und durchflussabhängige Probennahmen.

Die Probennahme kann manuell mit Schöpfgeräten oder apparativ mit automatischen Probennahmegeräten erfolgen.

Die Vor Ort-Parameter sind wie allen Wasserprobennahmen zu erfassen. Abwasserproben sollten aufgrund der oftmals hohen mikrobiologischen Aktivitäten nach der Entnahme und auf dem Transport mindestens auf/unter 4°C gekühlt werden.

5.2.5 Oberflächengewässer, Wasser und Sediment

Bei der Planung und Vorbereitung der Probennahme aus Oberflächengewässern (Stand- und Fließgewässer) und der Sedimentprobennahme aus Oberflächengewässern sind neben den bereits bei Grundwasser beschriebenen Maßnahmen gewässerökologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Durch Verklappung, Versenkung, Absturz von Bombenflugzeugen, Einschwemmung von Produktionsrückständen usw. können STV in Oberflächengewässer gelangt sein. Diese können durch verschiedene Faktoren mobilisiert werden. Besonders hohe Stofffrachten können z. B. durch tauwasserbedingte Änderungen des Wasserstandes, Sturm und Erhöhung der Strömung entstehen. Aber auch durch Herbst- und Frühjahrszirkulation bei dimiktischen Standgewässern können STV in oberflächennahe Wasserschichten gelangen. Mögliche Mobilisierung durch sommerstagnationsbedingte Ausstickung des Tiefenbereiches von Standgewässern mit einhergehender Stofffreisetzung aus dem Sediment können ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Für die Probennahme sollte ein geräumiges Motorboot organisiert werden, denn Beprobungen mittels Schlauchboot sind sehr beengt und somit zu vermeiden. Vor jeder Beprobung müssen im Vorfeld ein Lageplan für die Erstellung einer Lageskizze der

Beprobungspunkte sowie Tiefenkarte und Sedimentkarte des Gewässers (falls vorhanden) sowie Informationen über Zugänglichkeit und Befahrbarkeit des Gewässers beschafft werden.

Nachdem man die Probennahmestelle erreicht hat, erfolgt ggf. die Verankerung des Bootes und die Lotung der Gewässertiefe.

Wasserprobennahme

Wie bei der Grundwasserprobennahme erfolgt die Messung der Vor-Ort-Parameter Temperatur, Sauerstoffgehalt/Sauerstoffsättigung (Einsatz eines Batterierührers), pH-Wert, Leitfähigkeit und Redoxpotential. Bei Standgewässern werden die Parameter als Tiefenprofile meterweise gemessen. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Sonden nicht auf dem Grund schleifen oder in Mudden eintauchen (mechanische oder chemische Zerstörung der Elektroden bzw. Membran). Die Messergebnisse werden im Probennahmeprotokoll vermerkt. Für die Messung der Tiefenprofile kann man Tiefenelektroden an Kabeln verwenden. Es kann aber auch das Wasser schichtenweise mittels Unterwassertauchpumpe gefördert und über eine Durchflussmesszelle gemessen werden.

Bei Fließgewässern können die Messprofile sowohl quer, als auch in die Tiefe angelegt werden.

Die gleiche Strategie sollte bei der Probennahme angewendet werden, da bei natürlichen oder zumindest naturnahen Gewässern kaum homogene Wasserkörper vorkommen. Bei Einzelproben oder Rasterprobennahmen auf STV im Wasser werden vor allem die Bereiche kurz über Grund, z. B. in der Nähe von Munitionsverklappstellen oder im Spülsaum des Gewässers, entnommen. Das gleiche Prinzip gilt für die Entnahme von Sedimentproben.

Die Wasserprobe wird mittels eines Schöpfers (Nordmayer, Ruttner oder Nansenschöpfer) oder durch eine Unterwassertauchpumpe entnommen.

Die Schöpfer werden an einer stabilen Schnur bis zur entsprechenden Tiefe hinabgelassen. Bei einer Oberflächenwasserprobe sollte erst ab 0,5 m unterhalb des Wasserspiegels die Proben entnommen werden. Das ist mit dem erhöhten Sauerstoffgehalt durch den Wellenschlag zu begründen. Bei einer Tiefenprobe ist diese so über Grund zu entnehmen, dass kein aufwirbelndes Sediment die Probe verunreinigt.

Hat die Probennahmeapparatur die vorgesehene Tiefe erreicht, werden die Verschlusseinrichtungen ausgelöst (Nordmayer- und Nansenschöpfer mittels Fallgewicht und Ruttnerschöpfer durch Ruck an der Schnur). Danach wird sie an Bord gehievt. Über das Ablaufventil werden die Probennahmegefäße vorsichtig ohne Turbulenzen und Blasen gefüllt. Wenn nichts dagegensteht, sollten die Gefäße immer mindestens 2 x vorgespült werden. Die Flaschen sind, wenn nicht anders vom Labor vorgegeben, blasenfrei zu verschließen.

Die Proben werden, wie bei den übrigen Wasserprobennahmeverfahren, gekühlt und abgedunkelt umgehend zum Labor transportiert.

Sedimentprobennahme

Sediment wird oberflächennah mittels Sedimentgreifer, Schlammheber/Kammerbohrer für sedimenttiefenbezogene Proben bei fließfähigen Substraten oder Flügelscherbohrer bei pastösen bis stichfesten Sedimenten entnommen.

Der Sedimentgreifer wird geöffnet/gespannt, auf den Grund abgelassen und mittels Fallgewicht ausgelöst. Danach wird er an Bord gehievt und in einen Eimer oder eine Wanne entleert. Das Material der Gefäße muss gegenüber den zu untersuchenden Parametern inert sein. Daraus kann dann die Probe in das Probengefäß überführt werden (i. d. R. Schliffstopfen- oder Schraubdeckelbraunglas). Dabei ist eventuell überstehendes Wasser abzugießen und das Gefäß randvoll mit Sediment zu füllen.

Der Schlammheber wird soweit mittels Rohren (Bajonettkupplungen) verlängert, bis er sich im gewünschten Sedimentbereich befindet. Hier wird dieser mittels Seilzug geöffnet. Durch Ruckeln am Gestänge wird das Befüllergebnis verbessert. Dann wird der Seilzug gelockert und der Probennahmekopf schließt sich. Der Heber wird dann an Bord gehievt und es wird wie beim Sedimentgreifer weiter verfahren.

Der Flügelscherbohrer wird geöffnet und über Verlängerungsstangen in die entsprechende Sedimenttiefe gedrückt. Daraufhin wird er durch nach rechts Drehen geschlossen und an Bord geholt. Nach dem Öffnen des Bohrers kann der Bohrkern beprobt werden.

Für Sedimentprobennahmen sind noch mehr Geräte auf dem Markt erhältlich. Das sind, z. B. einfache Stechrohre, Sampler mit aufpumpbaren Verschlüssen und professionelle Bohranlagen mit Linern oder Schlauchkernen.

5.3 Bodenluft

Mittels Bodenluftmessungen lassen sich STV nur in Ausnahmefällen laboranalytisch bestimmen. Die Bodenluftuntersuchung kann aber bei Untersuchungen von Sprengstoffproduktionsanlagen für bestimmte Ausgangsstoffe, wie z. B. Toluol oder auch Benzol und Lösungsmittel, die bei der Wäsche der Sprengstoffe oder Reinigungsarbeiten, z. T. im erheblichen Umfang in den Boden gelangten, angewendet werden. Weiterhin kann man höhere Sprengstoffgehalte im Boden mittels Sprengstoffdetektoren, z. B. Ionenmobilitätsspektrometern, nachweisen. Gegenwärtig befindet sich eine spezielle Sonde, die den Boden erhitzt, um die STV zum Detektor zu mobilisieren von Dipl.-Ing. H. Wallburg und dem Autor dieser Dissertation in Entwicklung.

Vor Beginn der Probennahme ist wie bei den vorangegangenen beschriebenen Probennahmeverfahren die Probennahme zu planen und mit dem Labor abzustimmen.

Nachdem die Probennahmestelle analog zur Probennahme mittels Rammkernsondierung (s. 5.1.3) eingerichtet wurde, muss eine Blindprobe entnommen werden, um den Einfluss der Umgebungsluft auf das Messergebnis zu ermitteln. Weiterhin sind die meteorologischen Daten Außentemperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit zu messen. Es wird davon ausgegangen, dass der Luftdruck im Boden annähernd dem Luftdruck im Außenbereich entspricht. Das ist mit der Bodentemperatur und der Luftfeuchte der Bodenluft nicht der Fall. Diese sind entsprechend der bestehenden Forderungen im gesetzlich geregelten Bodenschutzbereich nicht zwingend zu ermitteln. Wenn die Außentemperatur niedriger als die Bodenlufttemperatur ist, ist mit durch Kondensation bedingten Ergebnisverfälschungen zu rechnen. Deshalb sollten keine Bodenluftprobennahmen bei Temperaturen unter 7°C erfolgen.

Zu Beginn jeder Probennahme muss die Dichtigkeit des Entnahmesystems überprüft werden. Die Dichtigkeit des Systems ist über den gesamten Probennahmezeitraum zu sichern. Es muss dieser Zeitraum über den geplanten Volumenstrom und das Probenvolumen berechnet werden. Für die Dichtigkeitsprüfung ist das gesamte System in voller für die Probennahme vorgesehener Länge zusammenzubauen und am Einlass zu verschließen. Mittels der Pumpe ist Unterdruck anzulegen und mittels Manometer zu überprüfen.

Es existieren im Wesentlichen zwei verschiedene Entnahmesysteme. Es handelt sich um ein Lanzensystem, mit welchem durch Einrammen in den Boden oder passgenaues straffes Einrammen in ein Bohrloch teufenorientiert Bodenluft entnommen werden kann. Das zweite System wird in ein vorgebohrtes Bohrloch eingebaut und der Probennahmebereich wird mit Packern abgedichtet. Die Sonde darf nicht im grundwasserführenden Bereich eingebaut werden. Gelangt Wasser in die Pumpe oder sogar in die Messeinrichtungen, werden diese dadurch zerstört. Nicht jedes System hat eine Wasserfang- oder Wasserstoppsicherung.

Grundsätzlich sollten entsprechend der Forderungen des gesetzlich geregelten Bereiches – Modul Boden und Anforderungen auf Bundesliegenschaften, mindestens das 2-fache des Totvolumens vor der Probennahme ausgetauscht werden. Weiterhin kann durch Messung von Sauerstoff und Kohlendioxyd der Probennahmezeitpunkt bestimmt werden. Entweder ist dieser bei Parameterkonstanz, oder nach anderen Vorgaben von Fachbehörden (z. B. Landesamt für Umwelt Bayern) bei der maximalen Kohlendioxydkonzentration. Fällt diese wieder ab und steigt der Sauerstoffgehalt wieder an, so ist von einströmender Außenluft z. B. durch Umströmen von Packern auszugehen.

Die Bodenluftprobe sollte nicht aus geringeren Teufen als 1 m unter Geländeoberkante entnommen werden. In niedrigeren Teufen sind Wechselwirkungen mit angesaugter atmosphärischer Luft nicht auszuschließen. Sollte sich dennoch eine Probennahme aus

Teufen < 1 m u.GOK notwendig machen, ist dies im Probennahmeprotokoll besonders hervorzuheben.

Nachdem sich Bodenluft im System befindet, kann diese z. B. über ein Septum entnommen, eine Röhrenkammer mittels Sampelpumpe auf ein Aktivkohle- oder Silikagelröhrchen geladen oder mittels Spezialanschluss durch einen evakuierten Gasbehälter (Alucan) abgesaugt werden. In jedem Falle ist darauf zu achten, dass im Probenentnahmesystem kein Unterdruck anliegt, der die Probennahme behindern würde.

Die über das Septum, z. B. mit Glaskolbenspritze entnommene Bodenluft kann entweder direkt auf ein Messgerät oder in Sammelgefäße, wie z. B. Head-Space-Röhrchen gegeben werden. Bei der Befüllung von Head-Space-Röhrchen werden zwei Methoden in der Praxis angewendet. Es ist die Spülmethode mit zwei Kanülen im Septum (Ein- und Auslaß) und die Vakuummethode, wo sich das evakuierte Head-Space-Röhrchen aus der Schliffkolbenglasspritze selbst vollsaugt.

Die gewonnenen Proben müssen sofort nach der Probennahme gekennzeichnet werden. Bei den Head-Space-Röhrchen und Anreicherungsröhrchen ist wenig Platz für die Beschriftung. Hier kann man oftmals nur die Probennummer vermerken. Die Dokumentation erfolgt analog zu den anderen Probennahmen.

Bodenluftproben müssen innerhalb von 24 h nach der Probennahme gemessen werden. Bei längeren Transport- und Lagerzeiträumen sollte nachgewiesen werden, dass dadurch das Messergebnis nicht verfälscht wurde.

Bodenluftproben sollten nicht zusätzlich gekühlt werden. Sie sind aber abgedunkelt zu transportieren und zu lagern.

Die Bodenluftentnahmeeinrichtung ist vor jeder Probennahme zu reinigen. Das geschieht mechanisch, durch Reinigungs- und Lösungsmittel und durch Ausheizen. Besonders vorsichtig ist bei Dichtungen, Kunststoff- und Glasteilen vorzugehen.

Glaskolbenspritzen dürfen nicht mit Heißluftgebläsen oder Gleitmitteln behandelt werden.

Die Vor-Ort-Gasmessgeräte können nur durch die Hersteller im Rahmen von Wartungsintervallen geprüft werden. Dennoch ist vor Ort eine Plausibilitätsprüfung vorzunehmen. Die Temperatur wird mittels geeichtem Thermometer rückgeführt. Die Luftfeuchtigkeit und den Luftdruck kann man über amtliche Wetterdaten der Region rückführen. Die Pumpen werden über den Wartungsdienst der Hersteller rückgeführt. Das kann man aber auch selbst durchführen. Mit der Pumpe kann man ein abgeschlossenes Glasgefäß über eine vorgegebene Zeit füllen und mittels geeichter Wage oder einem Messzylinder rückführen. So hat man neben der Zeit auch das Volumen rückgeführt.

5.4 Probennahmebegleitende Vor-Ort-Untersuchungsmethoden

In der BBodSchV wird zu Vor-Ort-Untersuchungsmethoden im Abschnitt 2.1 „Probennahmeplanung für Bodenuntersuchungen – Festlegung der Probennahmestellen und Beprobungstiefen“ ausgesagt: „Für die Festlegung von Probennahmestellen können auch Ergebnisse aus einer geeigneten Vor-Ort-Analytik herangezogen werden.“ Bei der Probennahme dienen Vor-Ort-Untersuchungen zur Orientierung und zur Optimierung der Probennahmepunkte. Das gilt besonders im Bereich der Untersuchung sprengstoffbelasteter Liegenschaften.

Ein Entwicklungsschwerpunkt im mobilen Messgerätebereich bilden Sprengstoffdetektoren für Militär, Polizei, Grenzschutz und Zoll. Es erfolgen auch Entwicklungen von Sprengstoffdetektoren für die Kampfmittelräumung, als Sondiergeräte gegen Landminen. Solche Sprengstoffdetektoren sind in den meisten Fällen nicht für Erkundungsmaßnahmen im Boden- und Grundwasserschutz geeignet. Das liegt an Störungen durch andere Stoffe und Metabolite der Sprengstoffe, aber auch an oft sehr geringen Konzentrationen und Verdünnungseffekten.

Vor jeder Erkundungsmaßnahme in Verdachtsbereichen mit STV sind Vor-Ort-Untersuchungsverfahren auf ihre Eignung zu testen, bzw. zu validieren. Es finden neben Messgeräten sowohl einfach herzustellende Tests, aber auch industriell hergestellte Tests Anwendung. Sie können nicht der Beweissicherung dienen, sondern haben orientierenden Charakter, z. B. bei der Bodenansprache und bei der Verdichtung von Rastern. Die Laboranalytik kann nicht ersetzt werden. Unter Vor-Ort-Messgeräten werden keine Feldlabors verstanden, die ihre Analysen analog der stationären Laboratorien durchführen. Dieser Arbeit liegen umfangreiche eigene Erfahrungen mit einem TNT-Schnelltest und dem Ionenmobilitätsspektrometer vor.

Der TNT-Schnelltest wird jeden Arbeitstag frisch zu gleichen Teilen aus Aceton und Natriumhydroxyd hergestellt. Es handelt sich um eine klare, farblose Lösung. Die Bodenprobe wird mit einem kleinen Spatel auf eine saugfähige Unterlage gelegt (z. B. Zellstoff). Danach wird ein Tropfen der Lösung auf die Probe gegeben. Ist TNT vorhanden, färbt sich die Probe nebst dem Zellstoff rot. Je nach Intensität ist mehr oder weniger TNT in der Probe. Die Farbe resultiert aus der Umwandlung des TNT durch die starke Base NaOH zu einem rot gefärbten Meisenheimer-Anion [Wennerström, 1971, Wollin und Levsen, 1999]. Es wurde festgestellt, dass der Test bereits bei geringen Konzentrationen unter 1 mg/kg TNT sehr schwach rötlich anzeigt.

Eine getestete und in Anwendung befindliche Messgerätelösung ist ein Ionenmobilitätsspektrometr (IMS). Es wurden damit TNT, RDX und PENT im Rahmen einer Ringversuchsvorbereitung [Hennecke und Küchler, 2010] sicher nachgewiesen. Das

Funktionsprinzip basiert auf einer Ionenerzeugung unter Normaldruck. Diese Ionen werden durch ein elektrisches Feld gegen den Messgasstrom gelenkt. Es kommt zu Zusammenstößen der Ionen mit den Gasmolekülen auf einer definierten Wegstrecke. Die Ionen erreichen eine bestimmte mittlere Geschwindigkeit. Der Quotient aus der Ionengeschwindigkeit und der elektrischen Feldstärke ist die Ionenmobilität. Durch Kalibrieren lassen sich STV identifizieren und teilweise quantifizieren (Abbildung 37). Dazu ist eine einfache Probenvorbereitung der Bodenprobe notwendig. Mittels Aceton wird der Sprengstoff aus dem Boden extrahiert.

Auf einer Glasplatte wird das Aceton verdampft und der Sprengstoff bleibt als Schlieren zurück. Diese wird mit einem Prüfkopf (Inlet system) abgewischt. Dieser Prüfkopf wird in das IMS eingebaut. Die Probe wird hier thermisch mobilisiert und gemessen. Anhand einer elektronischen Datenbank sind dann Stoffe und Verbindungen identifizierbar. Die Anzeige erfolgt, vorausgesetzt, das Gerät wurde darauf kalibriert, z. B. als 120 ppm RDX.

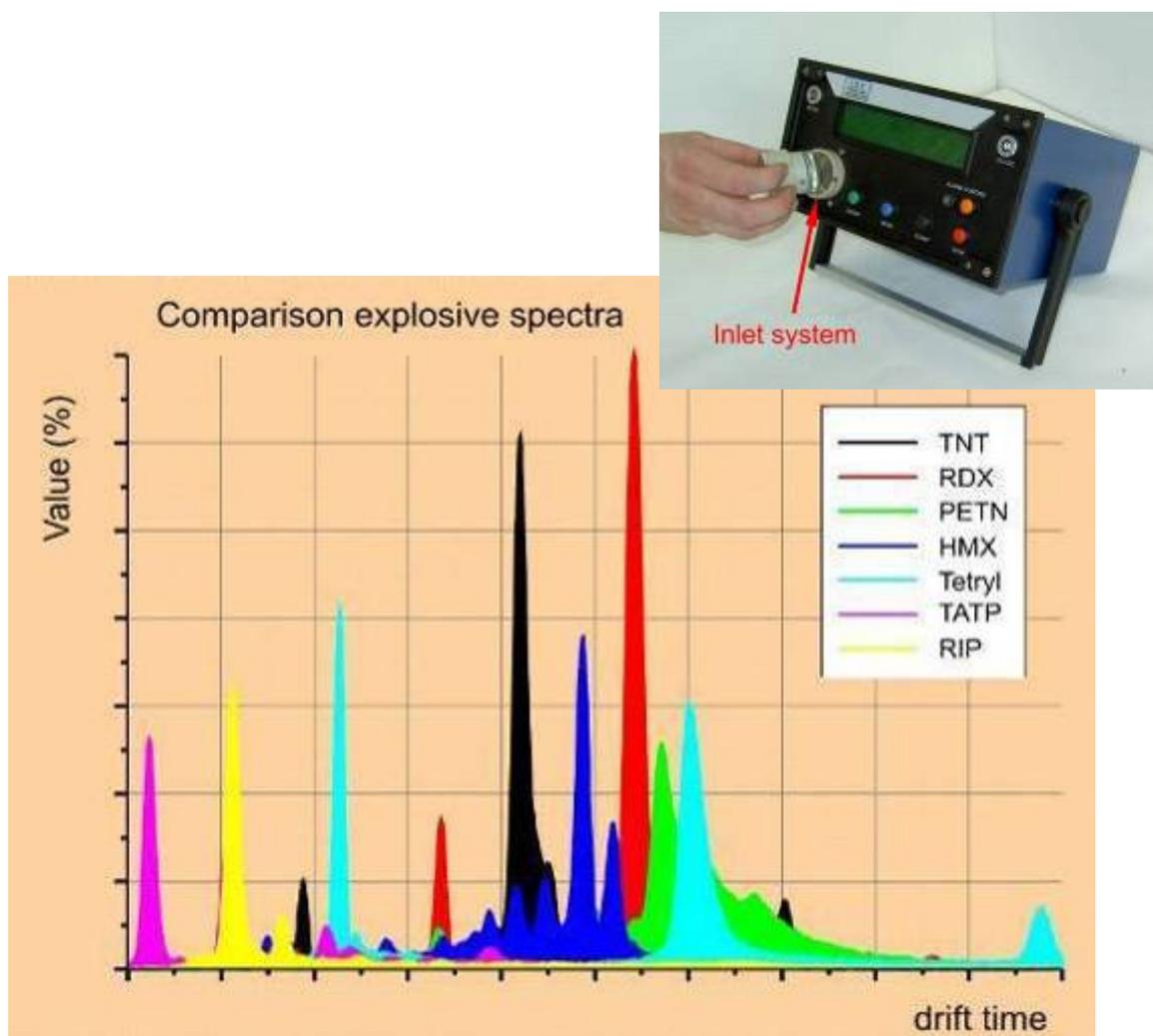


Abbildung 37: Ionenmobilitätsspektrometer der Firma IUT Institut für Umwelttechnologien GmbH und das Stoffspektrum detektierbarer STV

6 Arbeitssicherheit bei der Probennahme in mit sprengstofftypischen Verbindungen belasteten Bereichen

6.1 Grundlagen

Probennahmen in Bereichen, die mit STV, reinen Sprengstoffen und mit Kampfmitteln belastet sind, fallen nicht nur unter die Berufsgenossenschaftlichen Regeln zu Schutzmaßnahmen und Arbeiten in kontaminierten Bereichen und Gefahrstoffen, sondern liegen im Rechtsbereich des Sprengstoffgesetzes - SprengG und der Gefahrstoffverordnung - GefStoffV. Es müssen neben der TRGS 524 – Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen, den BG-Regeln, hier BGR 128 – Arbeiten in kontaminierten Bereichen sowie nach den Anforderungen des SprengG die BGI 833 - Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen bei der Kampfmittelräumung und im Übrigen die allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechend beachtet werden. Abweichungen sind zulässig, wenn die gleiche Sicherheit auf andere Weise gewährleistet wird.

Die BGR 128 definiert: „Kontaminierte Bereiche sind Standorte, bauliche Anlagen, Gegenstände, Boden, Wasser, Luft und dergleichen, die über eine gesundheitlich unbedenkliche Grundbelastung hinaus mit Gefahrstoffen oder biologischen Arbeitsstoffen verunreinigt sind.“ Die neue Gefahrstoffverordnung legt im § 11 „Besondere Schutzmaßnahmen gegen physikalisch-chemische Einwirkungen, insbesondere gegen Brand- und Explosionsgefährdungen“ und im § 12 Gefährdungsminimierungen durch geeignete Schutzmaßnahmen bei „Tätigkeiten mit Explosivstoffen, pyrotechnischen Gegenständen und organischen Peroxiden“ fest.

Die BG-Information 833 - Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen bei der Kampfmittelräumung gilt nur indirekt bei der Probennahme im STV-belasteten Bereich. Sie ist bestimmungsgemäß anzuwenden für die gezielte präventive Untersuchung und Beräumung kampfmittelbelasteter Flächen. Als Handlungsanleitung enthält sie für den Unternehmer Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen für die dabei auszuführenden Tätigkeiten, d.h. Aufsuchen, Freilegen, Identifizieren, Bergen sowie die Bereitstellung zum Abtransport und Übergabe der Kampfmittel an den staatlichen Kampfmittelbeseitigungsdienst bzw. an entsprechend beauftragte Personen oder Unternehmen.

Kampfmittel im Sinne dieser Arbeitshilfen zur wirtschaftlichen Erkundung, Planung und Räumung von Kampfmitteln auf Liegenschaften des Bundes [OFD-H AH KMR, 2007] sind gewahrsamslos gewordene, zur Kriegsführung bestimmte Gegenstände und Stoffe militärischer Herkunft und Teile solcher Gegenstände, die Explosivstoffe oder Rückstände dieser Stoffe enthalten oder aus Explosivstoffen oder deren Rückständen bestehen

Chemische Kampf-, → Nebel-, → Brand- oder Reizstoffe oder Rückstände dieser Stoffe enthalten oder Kriegswaffen oder wesentliche Teile von Kriegswaffen sind.

Die BGI 833 ist nicht gültig für die Probennahme auf sprengstoffbelasteten Liegenschaften und nach dem Stand der Technik auch nicht zwingend verbindlich. Die Organisation der Probennahme und besonders die Schutzmaßnahmen überschneiden und ergänzen sich aber mit der BGR 128 und der TRGS 524.

Ein generelles Problem der Probennahme ist, dass vor Beginn der Arbeiten in unter Kontaminationsverdacht stehenden Bereichen oder bei Probennahmen im Rahmen von weiterführenden Untersuchungen Informationsdefizite zur Gefahrstoffsituation bestehen. Der Auftraggeber hat nach berufsgenossenschaftlichem Recht alle Ergebnisse von Recherchen und Erkundungen den Auftragnehmern, hier Probenehmern, zur Verfügung zu stellen, dass sich diese auf die Gefahrstoffsituation und Gefährdungen einrichten können. Der Unternehmer hat nach § 5 Abs. 1 Arbeitsschutzgesetz vor der Probennahme zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind.

Bei der Gefährdungsbeurteilung hat der Unternehmer nach § 4 Arbeitsschutzgesetz die folgenden Punkte des § 5 Abs. 3 des Arbeitsschutzgesetzes zu berücksichtigen:

1. die Gestaltung und die Einrichtung der Arbeitsstätte und des Arbeitsplatzes
2. physikalische, chemische und biologische Einwirkungen
3. die Gestaltung, die Auswahl und den Einsatz von Arbeitsmitteln, insbesondere von Arbeitsstoffen, Maschinen, Geräten und Anlagen sowie den Umgang damit
4. die Gestaltung von Arbeits- und Fertigungsverfahren, Arbeitsabläufen und Arbeitszeit und deren Zusammenwirken
5. Qualifikation und Unterweisung der Versicherten

Bei der Probennahme auf STV kann es neben den Kontaminationen mit STV auch zum Auffinden von reinen Sprengstoffen und Kampfmitteln kommen. Mit begründetem oder bestätigtem Verdacht auf Sprengstoffe und Kampfmittel muss ein Arbeits- und Sicherheitsplan mit Gefährdungsbeurteilung gemäß BGI 833, BGR 128, TRGS 524 unter Berücksichtigung des SprengG erstellt werden. In diesen Verdachtsfällen muss nicht nur ein Sachkundiger nach der BG-Regel "Kontaminierte Bereiche" (BGR 128) anwesend sein, er oder eine zweite Person muss zusätzlich Verantwortliche Person nach § 20 Abs.1 Nr. 3 Sprengstoffgesetz sein.

Der Sachkundige nach der BG-Regel "Kontaminierte Bereiche" (BGR 128) ist, im Falle von mehreren Auftragnehmern zur Vermeidung möglicher gegenseitiger Gefährdung, zur Koordinierung und zur lückenlosen sicherheitstechnischen Überwachung der verschiedenen Arbeiten, insbesondere im Hinblick auf stoffliche Gefährdungen, als Koordinator vom

Auftraggeber schriftlich zu bestellen. Der Auftraggeber stellt sicher, dass der Koordinator in Bezug auf die Sicherheit und den Gesundheitsschutz Weisungsbefugnis gegenüber allen Auftragnehmern und deren Beschäftigten hat. Bereits bei Verdacht auf Sprengstoff und Kampfmittel muss der Koordinator verantwortliche Person nach § 20 Abs.1 Nr. 3 Sprengstoffgesetz sein oder es muss ihm eine solche Person an die Seite gestellt werden. Diese Person hat bei der Probennahme zwingend anwesend zu sein und darf als einzige mit Sprengstoff und Kampfmitteln umgehen.

Die Koordinierung darf nur Personen übertragen werden, die für die damit verbundenen Aufgaben geeignet sind und ausreichende Sachkunde über Sicherheit und Gesundheitsschutz nachweisen können. Werden die "kontaminierten Bereiche" zusätzlich durch chemische Kampfstoffe verursacht, müssen die Arbeiten von einer Person geleitet werden, die zusätzlich eine Fachkunde in Bezug auf den Umgang mit chemischen Kampfstoffen besitzt.

Entsprechend der verschiedenen Rechtsgrundlagen, in denen sie definiert sind, sind die Koordinierungsverpflichtungen entweder beim:

- Bauherren (bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen über Abschnitt 5 der BG-Regel "Kontaminierte Bereiche BGR 128" sowie über § 17 Abs. 2 der Gefahrstoffverordnung. Während der Planung ist zu prüfen, aus welchen Rechtsgrundlagen sich welche Koordinierungsverpflichtungen ergeben könnten.)

oder

- Unternehmer/Auftragnehmer (§ 6 der Unfallverhütungsvorschrift "Grundsätze der Prävention" BGV A1: in dem Fall, dass auf einer Räumstelle Mitarbeiter mehrerer Unternehmen beschäftigt sind, ist bzgl. der Koordinierung der Arbeiten ein Gesamtverantwortlicher schriftlich zu bestellen, in der Regel der Räumstellenleiter (§ 6 BGV A1).

Erkundungs- und Probennahmearbeiten in STV-kontaminierten Bereichen müssen von einem fachlich geeigneten Vorgesetzten bzw. Projektleiter geleitet werden. Dieser muss die vorschriftsmäßige Durchführung der Arbeiten gewährleisten und mit den besonderen Gefahren bei Arbeiten in STV-kontaminierten Bereichen vertraut sein.

Probennahmearbeiten müssen in jeder Arbeitssituation von fachlich geeigneten Personen durchgeführt werden. Bei Einsatz von technischem Hilfspersonal, z. B. Bohrgätebedienungen ist der Probenehmer oder eine zusätzliche Person ebenfalls verantwortliche Personen nach § 19 Abs.1 Nr. 3 Sprengstoffgesetz. Die Aufsichtführenden sind durch den Unternehmer zu bestellen.

Die im Rahmen der Probennahme eingesetzten Probenehmer müssen über die für die jeweils übertragene Aufgabe erforderliche Befähigung verfügen. Die erforderliche Befähigung kann unter anderem erreicht werden durch spezielle Lehrgänge, durch das Vorhandensein langjähriger Berufserfahrung (z. B. Nachweise der Tätigkeit als Räumarbeiter, Referenzen für Baustellen und Probennahmen im STV-kontaminierten Bereich usw.).

Der Unternehmer hat dafür Sorge zu tragen, dass gültige Befähigungsscheine, notwendige Erlaubnisse und Qualifikationsnachweise vorhanden sind.

Der Auftragnehmer hat Probennahmearbeiten in STV-kontaminierten Bereichen spätestens vier Wochen vor ihrem Beginn der zuständigen Berufsgenossenschaft, dem Gewerbeaufsichtsamt/Ordnungsamt und bei Verdacht auf Fundmunition dem staatlichen Kampfmittelbergungsdienst bzw. der dafür zuständigen Behörde schriftlich anzuzeigen. Der Anzeige müssen mindestens beigefügt werden:

- Eine zusammenfassende Darstellung und Bewertung der im kontaminierten Bereich vermuteten oder bekannten Gefahrstoffe,
- eine Beschreibung der vorgesehenen Probennahmen und der zugehörigen Probennahmeverfahren,
- die seitens des Auftragnehmers vorgesehenen Sicherheitsmaßnahmen,
- Betriebsanweisungen.

Die Schutzmaßnahmen sind auf der Grundlage der Ermittlungen und der Bewertung der einzelnen Probennahmestellen und Probennahmeverfahren gefährdungsbezogen festzulegen. Es muss mit einem abgestuften Maßnahmenkonzept gearbeitet werden. Es ist bei der Probennahme permanent zu prüfen, ob die Maßnahmen ausreichen. Im Umgang mit STV und Fundmunition sind Fehleinschätzungen und Falschbeurteilungen oft Ursache dramatischer Folgen. Den gewählten Probennahmeverfahren, Arbeitsmitteln und dem eingesetzten Personal kommt eine ebenso hohe Bedeutung zu, wie der zweifelsfreien Identifizierung der aufgefundenen Belastungssituation mit STV, ggf. Munition und der anschließenden Bewertung der Handhabungsfähigkeit durch die Verantwortliche Person gemäß § 19 Abs. 1 Satz 3 Sprengstoffgesetz. Dazu müssen neben visuellen Feststellungen auch Vor-Ort-Untersuchungen mit Tests und Analysengeräten durchgeführt werden.

Das TOP-Prinzip ist auch im STV-belasteten Bereich anzuwenden. Es gilt technische Schutzmaßnahmen vor organisatorische Maßnahmen und vor persönlichen Schutzausrüstungen.

Die Maßnahmen müssen dem Stand der Technik und den gesetzlichen Bestimmungen entsprechen. Die eingesetzten Gerätschaften und die Technik müssen den gültigen Vorschriften entsprechen und dementsprechend gültige Zulassungen, Haltbarkeiten,

nachweislich eingehaltene Wartungsintervalle, gültige Prüfungen und Kalibrierungen usw. haben.

Vor Beginn der Probennahme hat der Unternehmer die Probenehmer und beteiligten Beschäftigten über die mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen auf der Probennahmestelle sowie die Maßnahmen zu deren Verhütung zu unterweisen (nach § 12 Abs. 1 und 2 Arbeitsschutzgesetz, §§ 4 und 21 der Unfallverhütungsvorschrift "Grundsätze der Prävention" (BGV A1), Anhang 5 der "Explosivstoff-Zerlege- oder Vernichteregeln" BGR 114).

Die Unterweisung ist projektbezogen vor Beginn der Arbeiten durchzuführen und nach der "Explosivstoff-Zerlege- oder Vernichteregeln" (BGR 114) bei längerfristigen Probennahmeeinsätzen mindestens vierteljährlich zu wiederholen. Die Unterweisungen sind auch bei Neueinstellungen vor der Arbeitsaufnahme, bei wesentlichen Veränderungen der Arbeitsbedingungen, was häufig auch eine Veränderung der Gefährdung bewirkt, durchzuführen. Die Inhalte und der Zeitpunkt der Unterweisung sind zu dokumentieren und von den Unterwiesenen durch Unterschrift zu bestätigen.

Bei Arbeiten in STV-kontaminierten Bereichen ist Alleinarbeit verboten.

Bei der Aufbewahrung und dem Transport von sprengstoffbelasteten Proben (hinreichender Verdacht mit Bestätigung durch Schnelltests und Vor-Ort-Messungen) ist wie bei Kampfmitteln die Festlegungen nach Abschnitt 8 des Anhangs 5 der "Explosivstoff- Zerlege- oder Vernichteregeln" (BGR 114) zu beachten:

1. Die verantwortliche Person hat die für transportfähig erklärten Kampfmittel (Proben) dahingehend zu beurteilen, ob sie in einem Sammeltransport befördert werden können, oder ob sie in Einzeltransporten befördert werden müssen.
2. Die Verantwortliche Person hat dafür zu sorgen, dass
 - die Kampfmittel/Proben mindestens täglich abgefahren werden. Ist das nicht möglich, sind diese bis zum Abtransport gegen unbefugten Zugriff mittels zugelassener Behälter zu sichern oder ihre Bewachung zu veranlassen (Bei der Errichtung von Lagern zum Aufbewahren von Kampfmittel sind das Sprengstoffgesetz und die Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz zu beachten.),
 - die Kampfmittel/Proben auf dem Transportfahrzeug durch geeignete Mittel so fixiert werden, dass sie den normalen Transportbeanspruchungen standhalten; sie sind so zu laden, dass durch Anordnung und Verwendung geeigneter Verpackungsmaterialien das Risiko einer Massenexplosion ausgeschlossen wird,
 - die Kampfmittel/Proben, die erkennbar Stoffe enthalten, die zur Selbstentzündung neigen oder die mit anderen Kampfmitteln oder deren

Inhaltsstoffen gefährlich reagieren können, in geeigneten Behältern untergebracht und gesondert transportiert werden; zusätzliche Vorkehrungen zur Eindämmung von Brand- und Wärmewirkungen können erforderlich sein,

- Rauchentwickler, pyrotechnische Sätze, die sich bei Feuchtigkeit entzünden können, unbedingt trocken gehalten werden und freiliegender weißer Phosphor nur unter Wasser oder nassem Sand in geschlossenen, dichten Behältern transportiert wird,
- zu gleicher Zeit an einer Umschlagstelle nur ein Fahrzeug be- oder entladen wird; dabei müssen die Bremsen angezogen und der Motor abgestellt sein, sofern der Motor nicht für den Antrieb einer Be- oder Entladeeinrichtung benötigt wird.

Nachfolgende Festlegungen sind nach Abschnitt 9 des Anhangs 5 der "Explosivstoff-Zerlege- oder Vernichteregeln" (BGR 114) hinsichtlich Ausrüstung und Betrieb von Fahrzeugen zum Verbringen auf der Räumstelle zu beachten:

1. Innerhalb von Räumstellen (Probennahmebereichen) dürfen nur solche Kraftfahrzeuge zum Verbringen von Kampfmitteln/Proben benutzt werden, die beim bestimmungsgemäßen Gebrauch Explosivstoffe nicht entzünden können. Abweichungen sind zulässig, wenn die Art der zu befördernden Kampfmittel/Proben und die eventuell weiteren gefährlichen Stoffe auch den Einsatz anderer Fahrzeuge bei gleicher Sicherheit zulassen. Dies wird z.B. erreicht, wenn bei explosivstoffgeschützten Fahrzeugen eine Typ- oder Einzelprüfung nachgewiesen wird. Solche Kraftfahrzeuge sind z. B. explosivstoffgeschützte oder geschützte Fahrzeuge mit elektrischem oder Dieselantrieb (BGR 123 "Einsatz von Fahrzeugen in Explosivstoffbetrieben").
2. Die Fahrzeuge sind vor dem Beladen zu betanken. Das Nachtanken beladener Fahrzeuge ist zu vermeiden. Gefüllte Kraftstoffkanister dürfen auf dem Fahrzeug nicht mitgeführt werden.

Beim Bereithalten der Kampfmittel/Proben zur Übergabe und dem Abtransport durch den staatlichen Kampfmittelbergungsdienst oder die damit beauftragten Firmen und Personen sind nachfolgende Festlegungen nach Abschnitt 10 des Anhangs 5 der "Explosivstoff-Zerlege- oder Vernichteregeln" (BGR 114) zu beachten:

1. Abweichend von Abschnitt 5.18 "Aufbewahren" der "Explosivstoff-Zerlege- oder Vernichteregeln" (BGR 114) dürfen auf Räumstellen Explosivstoffe gemeinsam bereitgehalten werden.

2. Pyrotechnische Gegenstände und Sätze sind von den übrigen Kampfmitteln getrennt aufzubewahren.

Die Umsetzung des SprengG der BGR, BGI und TRGS beim Umgang und bei der Analytik von sprengstoffbelasteten Proben im Labor wird hier nicht behandelt. Die Verantwortung des Probenehmers endet mit der ordnungsgemäßen Übergabe an den Transporteur (z. B. durch den staatlichen Kampfmittelbergungsdienst oder die damit beauftragten zugelassenen Firmen) bzw. an das Labor.

6.2 Anwendungsbeispiel als praxiserprobte Variante

6.2.1 Gefahrenbewertung unter den Gesichtspunkten des Gesundheitsschutzes für Arbeitnehmer

Gefahren im mit STV belasteten Bereichen ergeben sich für die Arbeitnehmer aus folgenden Aspekten:

1. Gefahren bei direktem Kontakt der Stoffe über die Haut
2. Gefahren durch inhalative Aufnahme
3. Explosionsgefahr.

Für alle drei Gefahrenaspekte ist zuerst mit technischen Mitteln die Vermeidung der Gefahr anzustreben. Dazu sind die Technologien der gewählten Erkundungsverfahren zu optimieren.

Bei der Bearbeitung stehen die Gefahren durch Explosionen im Vordergrund. Vergleichsweise hierzu sind die Gefahren, z. B. durch die Metalle Quecksilber und Blei als geringfügig zu betrachten. Da andere Gewichtungen der Expositionspfade in den sprengstoffunbelasteten Kontaminationsbereichen zu erwarten sind, werden diesbezügliche Gefahrenanalysen erst nach der nachfolgenden Beschreibung der Vorgehensweise bezüglich der Explosionsproblematik beschrieben.

6.2.2 Erkundungsverfahren

6.2.2.1 Zeitlicher Ablauf in der Bearbeitung der einzelnen Kontaminationen und der Einzelgewerke

Allgemein sind Kleinrammbohrungen (RKS), Trockenbohrungen (TB) und Schurfe (SCH) vorgesehen. Über die Anzahl und die zeitliche Planung liegen im Allgemeinen zum Zeitpunkt der Erstellung des Arbeits- und Sicherheitsplanes (A+S Plan) noch keine endgültigen

Aussagen vor. Der A+S Plan wird nach Vorliegen der konkreten Planung diesbezüglich präzisiert.

6.2.2.2 Allgemeine Beschreibung der Verfahrensschritte und Arbeitsweisen

Die prinzipielle Bearbeitung lässt sich wie folgt darstellen:

- a) Festlegen des Bohransatzpunktes / Schurfansatzes
- b) Überprüfung und Freigabe des Bohransatzpunktes durch den Kampfmittelräumdienst bzw. Feuerwerker
- c) Durchführung der Sondierung / Aushub des Schurfes mit Bodenprobengewinnung und Gewinnung kontaminierten Bohrgutes / Schurfmaterials; Schurfmaterial wird seitlich des Schurfes gelagert
- d) Ggf. Ausbau der Bohrung als Grundwassermesstelle
- e) Verfüllung, Verschließen des Sondierloches mit unkontaminiertem Bohrgut
- f) Offenlegung des Schurfes für einen längeren Zeitraum; danach ggf. Wiederverfüllung des Schurfes
- g) Lage- und höhenmäßige Einmessung der Aufschlüsse
- h) Grundwasserprobennahme aus den Grundwassermesstellen (ggf. auch aus alten Messstellen)

Folgende Verfahrensweisen sind bei der Erkundung realisierbar:

1. Vorbereitung der Flächen

Das Unterholz wird beseitigt. Danach wird der Rasen gemäht und ggf. die Erkundungen behindernde Teile beräumt. Zur Bindung von Staub kann die Fläche mit Wasser besprengt werden.

2. Erkundungsmöglichkeiten

Zur Erkundung stehen grundsätzlich zwei Verfahrenstypen offen, deren Vor- und Nachteil bzw. Erfordernis persönlicher Schutzausrüstung nachfolgend in Tabelle 13 beschrieben wird:

Tabelle 13: Verfahrenstypenvergleich

Kriterium	Maschineneinsatz		Handarbeit
Geräte-einsatz	Bagger mit Panzerverglasung und Unterbodenschutz	Ferngesteuertes Bohrgerät	Handarbeit mit Handbohrungen oder Handschurfherstellung
Energie-eintrag	hoher Energieeintrag in den Boden	hoher Energieeintrag in den Boden	geringer Energieeintrag in den Boden
Kontroll-möglich-keit	eingeschränkte visuelle Kontrolle möglich	keine direkte visuelle Kontrolle; nur indirekt über Kamera möglich	sehr gute visuelle Kontrolle
Notwen-digkeit von PSA	Explosionsschutz: keine Kontaminationsschutz: PSA bei Abfüllen von Bodenproben	Explosionsschutz: keine Kontaminationsschutz: PSA bei Abfüllen von Bodenproben	Explosionsschutz: <ul style="list-style-type: none"> • Vollsichtschutz, Helme • Splitterweste für Brust und Unterleib • Manipulatoren • Gehörschutz • ständiges Vorhandensein eines Rettungswagens Kontaminationsschutz: <ul style="list-style-type: none"> • Einweganzug • Maske

Auf Grundlage dieser Betrachtung scheidet eine Handarbeit aus. Nicht praktikabel ist das gleichzeitige Arbeiten mit Schutzausrüstungen für den Explosions- und Kontaminations-schutz. Der einzige Vorteil einer händischen Arbeit, nämlich die gute visuelle Einschätzbarkeit, relativiert sich bei Anlegen einer Schutzmaske.

Die beiden maschinenunterstützten Erkundungsstrategien bergen die Gefahr in sich, durch den hohen Eintrag von Energie in den Boden eine Explosion auszulösen. Dabei ist in einem solchen Falle beim Baggereinsatz die Gefahr einer Zerstörung des Bohrgerätes geringer als bei der ferngesteuerten Variante. Beim ferngesteuerten Bohrgerät muss sich in mittelbarer Entfernung zum Einsatzort das Steuerpersonal befinden. Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen besteht im Explosionsfall Gefahr durch herumfliegenden Teile. Im Rahmen des

Baggereinsatzes ist bis auf den Geräteführer kein weiteres Personal im mittelbaren Umfeld erforderlich.

Insgesamt wird die Erkundungsvariante mit Bagger präferiert. Diese ist jedoch immer mit dem Staatlichen Munitionsbergungsdienst abzustimmen.

Beim Auffinden sprengfähiger bzw. diesbezüglich in Verdacht stehender Materialien wird wie folgt vorgegangen:

1. Der Feuerwerker der Erkundungsfirma wird tätig. Kann er zweifelsfrei die Transportfähigkeit des Materials feststellen, wird das Material geborgen und zur Sprengung abtransportiert.
2. Sollte der Feuerwerker der Erkundungsfirma nicht sicher sein, wird der Staatliche Munitionsbergungsdienst benachrichtigt und zu Rate gezogen. Dieser entscheidet dann, ob das Material transportfähig ist oder ordnet die Sprengung vor Ort an.

Diese Verfahrensweise ist im Vorfeld der Arbeiten mit dem Staatlichen Munitionsbergungsdienst zu koordinieren.

Die Gefährdung von Arbeitnehmern besteht bei Direktkontakt mit den gefördert Böden (Abbildung 38). Expositionsgefahr besteht bei der maschinellen Bearbeitungsart nur bei der Bodenprobengewinnung. Die Probennahme hat daher unter Anlegen der Tabelle 14 aufgeführten Schutzausrüstung zu erfolgen.



Abbildung 38:
Probennahme im STV-
belasteten Bereich

Tabelle 14: Standard der persönlichen Schutzausrüstung

Schutz- klasse	Standard der persönlichen Schutzausrüstung	Betroffene Arbeitsbereiche
1	<p>Anzulegende PSA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bausicherheitsschuhe (Schnürstiefel) der Klasse S 3 • Bauschutzhelm • Einwegschutzanzug Kategorie 3 mit Schutz gegen Stäube (Typ 5) • Chemikalienbeständige Schutzhandschuhe • Vorzuhaltende PSA: Vollmaske mit Filtertyp P3 	<ul style="list-style-type: none"> • Bodenprobennahme

6.2.2.3 Ermittlung der Tätigkeiten mit Gefahrstoffexpositionen

Die Gefährdung von Arbeitnehmern besteht bei Direktkontakt mit den geförderten Böden und durch Einatmen toxischer Dämpfe und Stäube. Sprengfähige Sedimente (TNT, RDX, PETN usw.) können bei übermäßiger Reibung oder durch Hitzeeintrag zur Auslösung kommen. Dies kann auch durch die Bohrwerkzeuge verursacht werden.

In der Tabelle 15 die möglichen Expositionspfade bei den vorgesehenen Arbeiten betrachtet.

Tabelle 15: Arbeitsschritte mit Gefahrenbetrachtung

Arbeitsschritt	Gefahrenbetrachtung
Festlegen des Aufschlusspunktes / Freimachung von Gebüsch	<ul style="list-style-type: none"> Keine Gefahr
Kampfmittelfreigabe	<ul style="list-style-type: none"> perkutant: Kontakt mit kontaminiertem Boden durch Handschachtung inhalativ: Ausgasungen aus der Bodenluft explosiv: Spatenschlag auf sprengfähige Stoffe
Durchführung der Probennahme	<ul style="list-style-type: none"> perkutant: Kontakt mit kontaminiertem Boden bei Bodenprobennahme und Leerung des Probennahmegerätes inhalativ: Ausgasungen aus der Bodenluft bei Bodenprobennahme und Leerung des Probennahmegerätes, Staubentwicklung explosiv: Schlag des Bohrwerkzeuges auf sprengfähige Stoffe
Messstellenausbau der Bohrungen in der gesättigten Bodenzone	<ul style="list-style-type: none"> inhalativ: Ausgasungen des Grundwassers aus dem Bohrloch perkutant: Kontakt mit kontaminiertem Grundwasser bei Messstellenausbau und Klarpumpen der Pegel
Offenlegung der Schurfe	<ul style="list-style-type: none"> inhalativ: Ausgasungen der Bodenluft aus den Schurfen und den seitlich gelagerten Aushubmassen, Staubentwicklung perkutant: Kontakt mit kontaminierter Aushubmasse und Schurfwänden und -sohle; späterhin Kontakt bei Verfüllung
Lage- und Höheneinmessung	<ul style="list-style-type: none"> keine Gefahr
Grundwasserprobennahme	<ul style="list-style-type: none"> perkutant: Kontakt mit kontaminiertem Grundwasser inhalativ: Ausgasungen aus dem Grundwasser

6.2.3 Arbeits- und Gesundheitsschutz

6.2.3.1 Beschreibung der speziellen Baustelleneinrichtung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen

Die Arbeiten finden oft auf Flächen statt, auf denen mit normalem Geschäftsbetrieb zu rechnen ist. Daraus resultiert, dass sich im unmittelbaren Umfeld Personen aufhalten, die keinen fachlichen Bezug zu den Erkundungsarbeiten haben. Deshalb ist zu gewährleisten, dass Unbeteiligte nicht versehentlich in den Arbeitsbereich gelangen. Darüber hinaus ist es nicht erwünscht, dass Interessierte die Arbeiten behindern und dass sich ggf. auftretende Boden-, Sediment- oder Wasserspritzer über den Arbeitsbereich hinaus ausbreiten können.

Für das Untersuchungs Gelände besteht in der Regel nur ein eingeschränkter Zugang. Das befugte Personal ist so sensibilisiert, dass mit Schaulustigen nicht zu rechnen ist. Somit kann davon ausgegangen werden, dass das abgesperrte Gelände quasi schon unter den Sicherheitsaspekten betrachtet ein Schwarzbereich ist. Bis auf die unmittelbaren Probennahmestellen wird dieser Bereich jedoch üblicherweise in der Erkundungspraxis als Weißbereich gehandhabt bzw. definiert (Abbildung 39).

Es wird für die Bohrarbeiten im freien Gelände als ausreichend erachtet, die Bohr- (Schurf-) -punkte mittels Absperrband abzutrennen. Der umspannte Bereich wird als Schwarzbereich deklariert. Der Weißbereich ist durch eine mobile Schleuse zu erreichen. Diese kann aus einem räumlich zweigeteilten Bauwagen bestehen, in dem die persönliche, kontaminierte Schutzausrüstung gegen saubere, unkontaminierte Arbeitssachen getauscht werden. Gebrauchte und nicht mehr nutzbare PSA wird nach Beendigung der Arbeiten in einem zentralen Sammelbehälter entsorgt. Weiterhin soll ein Waschbehälter mit Bürsten zur Stiefelwaschung bereitstehen. Eine Handwaschgelegenheit vor Ort ist zusätzlich vorzusehen. Das Waschwasser der Stiefelwäsche und des Handwaschbeckens wird separat aufgefangen. Wasch- und Pausengelegenheiten werden zentral eingerichtet. Hierzu sind neben einer stationären Baustelleneinrichtung auch nach Möglichkeit Gelegenheiten nutzbar. Zu Pausen und zum Arbeitsschluss werden diese Einrichtung genutzt. Die stationäre Baustelleneinrichtung ist in einem Bereich mit möglichst geringem Publikumsverkehr auf dem Gelände einzurichten. Sie muss eine Duschkabine besitzen, einen Bereich zum Wechsel von Straßenkleidung in unkontaminierte Arbeitskleidung und einen Pausenraum.

Zusammenfassend beinhaltet die Baustelleneinrichtung folgende Elemente:

- Wetterstation mit kontinuierlicher Aufzeichnung der Mikroklimadaten (Temperatur im Boden, Luft, vertikale Luftstabilität, Windrichtung und -stärke, Niederschlag,

Helligkeit)

- Absperrelemente zur Sicherung der Arbeitsplätze
- Ausrüstung mit Nachrichten- und Warntechnik zum Abarbeiten der Notfallkette, Festlegung von Signalen der Warnung und Alarmierung des Personals mittels Schaukarten
- Bereitstellung einer zentralen mobilen Wasserversorgung mit mindestens 1 m³ Wasser im Weißbereich der Baustelle und Auslegen von Versorgungsleitungen zu den einzelnen Dekontaminationsplätzen. Die zentrale Wasserversorgung dient der Erleichterung der Arbeiten unter Schutzausrüstung und für das Bereitstellen auch kurzfristig größerer Wassermengen im Havariefall
- Installation einer stationären Stromversorgung für die Schwarz-Weiß-Anlage, Beleuchtung für die Erkundungsmaßnahmen
- Aufbau Dekontaminationsmöglichkeit für Stiefel und Schutzhandschuhe auf den Dekontaminationsplätzen
- Gestellung einer Schwarz-Weiß-Anlage im Übergangsbereich von Schwarz/Weißbereich
- Aufbau von Dekontaminationplätzen für Geräte, Probengefäße mit einfachen Mitteln (Schalen, Fässer, Bürsten, Spachtel, Pinsel u. a.) mittels Wannen, Behälter u. a.
- Bereitstellungsplatz und Gefäße für chemische Lösemittel zur Reinigung von Ausrüstung und Technik
- Bereitstellung von Brandschutzgeräten (mindestens 2 Feuerlöscher) in der Nähe des Elektroaggregates und einer im Schwarzbereich
- Bereitstellung mobiler Messtechnik
- Einrichtung Probenlager
- Bereitstellung eines Notfallkoffers, einer Krankentrage und eines Rettungsfahrzeuges im Weißbereich und in einer Zweitausrüstung am Arbeitsplatz
- Bereitstellung von Notfallpäckchen für Verletzungen je Beschäftigter
- Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz lt. BGV A8 (VBG 125)
 - Verbotsszeichen P01 "Rauchen verboten"
 - Verbotsszeichen P06 "Zutritt für Unbefugte verboten"
 - Verbotsszeichen "Essen und Trinken verboten"
 - Gebotszeichen M04 "Atemschutz benutzen"
 - Gebotszeichen M05 "Schutzschuhe benutzen"
 - Gebotszeichen M06 "Schutzhandschuhe benutzen"
 - Gebotszeichen M07 "Schutzkleidung benutzen"
 - Gefahrenzeichen W03 "Warnung vor giftigen Stoffen"

- Gefahrenzeichen W04 "Warnung vor ätzenden Stoffen"
- Rettungswegsymbole E06 "Erste Hilfe"
- Rettungswegsymbole E07 "Krankentrage"
- Rettungswegsymbole E08 "Notdusche"
- Rettungswegsymbole E09 "Augenspüleinrichtung"
- Brandschutzsymbole "Feuerlöschgerät"
- Absperrbarken (Zeichen 600 gem. StVO)
- Zeichen "Fluchtweg"

Diese Zeichen sind jeweils an den entsprechenden Arbeitsplätzen oder nach Festlegungen durch die Aufsichtsperson anzubringen.

- Die Absperrung der Baustelle erfolgt mit Absperrband. Eine Sperrung mittels Bauzaun wird aus Sicherheitsgründen nicht erfolgen, da hiermit schnelle Fluchtwege verbaut werden. Bei Notwendigkeit ist auf Anordnung der Aufsichtsperson eine Überwachung der Baustelle vor unbefugten Zutritt zu organisieren. Die Absperrungen sind von der Aufsichtsperson so zu wählen, dass notwendige Sicherheitsabstände zu den möglichen Gefahrstoffaustrittsquellen unter Beachtung der Windrichtung gewährleistet sind.

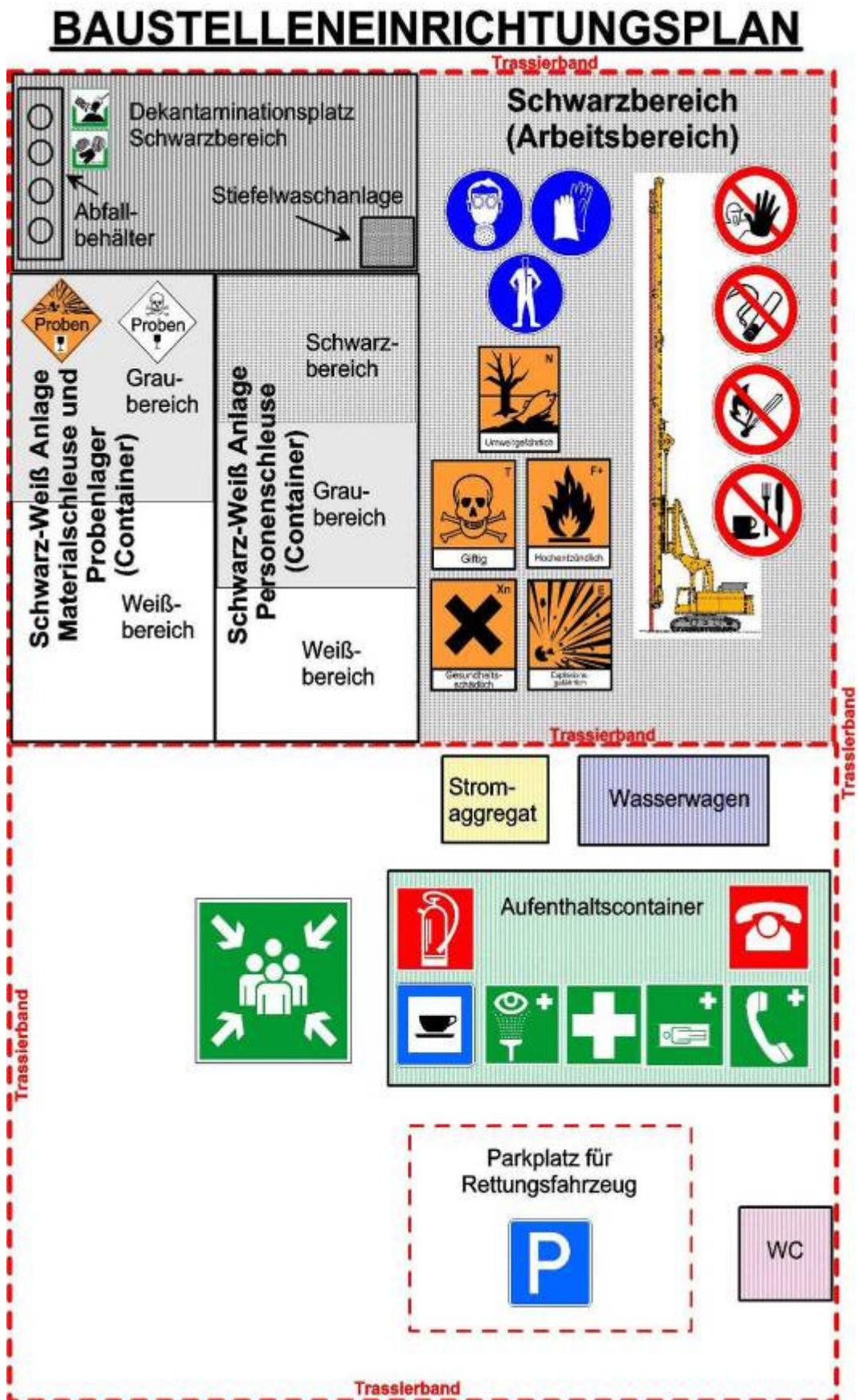


Abbildung 39: Baustelleneinrichtungsplan

6.2.4 Organisatorische Schutzmaßnahmen

6.2.4.1 Einteilung in Schutzzonen

Schutzzonen werden nicht unterteilt. Es gibt den Schwarzbereich als unmittelbaren Arbeitsbereich, der durch Warnband abgesperrt ist. Im Regelbetrieb wird der Schwarzbereich durch eine mobile Schleuse betreten und verlassen, in der ein Sachenwechsel stattfindet. Alle Flächen außerhalb des gesperrten Bereiches sind Weißbereich.

6.2.4.2 Festlegung der technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen

Folgende Schutzmaßnahmen sind umzusetzen:

Weißbereich:

- Durchsetzung aller allgemeinen organisatorischen Maßnahmen
- Gewährleistung von Fluchtwegen
- Markierung und Warnung durch Trassierung und Beschilderung (im Rahmen des Gesamtstandortes)
- technische Bereitstellungslager für Schutzausrüstungen

Schwarzbereich:

- Alleinaufenthaltsverbot
- Vorhandensein aller erforderlicher Ausrüstungen und Werkzeuge zur Vermeidung von unnötigen Bereichswechseln
- Vorhandensein aller Benachrichtigungsausrüstungen zur Umsetzung des Alarmplanes
- Markierung und Warnung durch Trassierung und Beschilderung
- Vorhalten und ggf. Anlegen der Persönlichen Schutzausrüstung
- Rettungsgeschirr und Rettungswagen vorhalten

6.2.4.3 Allgemeine Verhaltensregeln

- Keine Alleinarbeit; kein Alleinaufenthalt im Schwarzbereich
- Vor jedem Arbeitsbeginn ist das Vorhandensein, die Funktion und die Betriebssicherheit der Arbeits- und Rettungsgeräte zu überprüfen.
- Arbeiten nur in Sicht-/Hörweite des Arbeitskollegen; ggf. Kommunikationshilfen wie

akustische Signale, Funk

- Kein Verzehr von Lebensmitteln
- Rauchverbot
- Das Berühren von Gegenständen sowie des Bodens ohne ausreichend angelegte persönliche Schutzausrüstung hat zu unterbleiben. Die Beurteilung und Freigabe erfolgt im Bedarfsfall nach Abstimmung mit dem Sicherheitskoordinator
- Das Hinsetzen auf den Boden ohne ausreichende undurchlässige Bodenabdeckung ist verboten
- Es ist stets die Toilette außerhalb des Areals (Schwarz-Weiß-Anlage) zu benutzen. Die Hände sind vor dem Gang zur Toilette besonders gründlich zu waschen
- Der Gebrauch von offenem Licht und Feuer sowie das Anlegen von Feuer ist verboten und das Benutzen funkenbildender Geräte ist zu unterlassen
- Erkundungen auf "eigene Faust" haben zu unterbleiben
- Organoleptische (nur visuelle) Ansprache der Sedimente und des Bodens ist untersagt,
- Den Weisungen der Sicherheitsfachkraft ist Folge zu leisten
- Der Fahrzeugverkehr ist auf dem Gelände auf ein absolut erforderliches Mindestmaß zu beschränken.
- Alle Fahrzeuge, die nicht für die Arbeit verwendet werden, sind vor dem Ein- und Ausgang abzustellen
- Keine selbständige Bergung von Sprengstofftypischen Materialien durchführen
- Mitführen eines Kanisters mit Leitungswasser zum Reinigen der Hände, Hautreinigungsmittel und Einweghandtücher
- Verlassen des Geländes nur über festgelegten Ausgang, Reinigung und Dekontamination der Stiefel
- Weitere betriebsinterne Sicherheitsfestlegungen (z.B. Waldbrandwarnstufen) sind einzuhalten
- Im Zuge von allgemeinen Arbeiten oder Erkundungsarbeiten dürfen keine Tätigkeiten ausgeführt werden, die Auffälligkeiten (z.B. Trichter, Gruben) und Hinweise auf potentielle Kontaminationsherde beseitigen (z.B. durch Einebnen, Verfüllen mit Laub oder Reisig)

6.2.4.4 Besondere Verhaltensregeln für den Gefahrfall

Im Falle des Auftretens von akuten Vergiftungsanzeichen (Unaufmerksamkeit, Schwindel, Unwohlsein, Kopfschmerzen, Übelkeit etc.) ist sofort der Aufsichtsführende des Auftragnehmers oder ein Ersthelfer zu verständigen.

Tritt ein unvorhergesehener Gefahrfall durch vorhandene Gefahrstoffe, oder andere Gefahrenmomente ein, ist folgendermaßen zu verfahren:

Nach Meldung des Gefahrfalls an die Aufsichtsperson erfolgt durch diese die weitere Festlegung aller notwendigen Maßnahmen:

- Warnung Beteiligter bzw. Unbeteiligter Dritte vor dem Gefahrenort
- Umsetzen der Melde- und Rettungskette (Rettungskette wird im Detail abgestimmt)
- Bergen von Verletzten
- Dekontamination und Behandlung vergifteter Bekleidungs- und Körperteile
- Medizinische Notversorgung (Selbst- und Kameradenhilfe) durch Ersthelfer

6.2.4.5 Benutzung der Dekontaminationseinrichtungen und –anlagen

Die gemäß Lageplan einzurichtenden Dekontaminationsplätze sind grundsätzlich zu benutzen und durch eine Sicherheitsfachkraft zu kontrollieren.

6.2.4.6 Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung

Erstuntersuchung (Pflicht)

Innerhalb von 4 Wochen vor Beginn der Arbeiten sind die Arbeitnehmer einer Vorsorgeuntersuchung unter Berücksichtigung folgender berufsgenossenschaftlicher Grundsätze zu unterziehen:

- G 24 Hauterkrankungen
- G 26 Tragen von Atemschutzgeräten
- G 40 Krebserzeugende Arbeitsstoffe allgemein

Begleitende Untersuchung

Bei einer relativ kurzen Erkundungsdauer ist es nicht sinnvoll, ein Biomonitoring

anzuwenden.

Abschlussuntersuchung

Nach Beendigung der Tätigkeit ist eine Abschlussuntersuchung durchzuführen. Befinden sich die Arbeitnehmer in einem Turnus der Arbeitsmedizinischen Untersuchung, ist dieser Turnus entsprechend fortzuführen.

6.2.5 Technische Schutzmaßnahmen / Anwendbarkeit technischer Schutzmaßnahmen bzw. Vermeidungsstrategien

Technischen Schutzmaßnahmen sollten in erster Linie der Vermeidung von Expositionsmöglichkeiten dienen. Insbesondere sollen händische Arbeiten, bei denen die Gefahr der Exposition besteht, durch Maschineneinsatz reduziert werden. Bei der eigentlichen Probennahme ist dies sehr schwer möglich.

In der ersten Arbeitsstufe erfolgt eine Munitionssuche. Dazu muss ggf. per Hand vorgeschachtet werden. Der Einsatz von Kleinbaggern ist diesbezüglich ungeeignet, da gerade durch die Handschachtung ein behutsamer Aushub erreicht werden soll, um sensibel auf mögliche Widerstände im Boden (welcher Art auch immer) reagieren zu können. Für diesen Arbeitsschritt ist bei Expositionsgefahr demnach nur das Anlegen der PSA ein Schutzmittel.

In der zweiten Arbeitsstufe erfolgen die eigentlichen Erkundungsarbeiten. Für Kleinrammbohrungen und Schneckenbohrungen kommen dabei Kleinraupen bzw. LKW-aufgebaute Bohrgeräte zum Einsatz. Expositionsgefahren bestehen perkutant durch Kontakt mit kontaminiertem Bohrgut, inhalativ durch Ausgasungen und Verwehung des Bohrgutes und explosiv durch Auslösung von Explosionen durch Zündung von TNT. Sondierungen mittels handmobilen Bohrhämmern sollten vermieden werden. Somit sind die Arbeitnehmer nicht direkt mit dem Bohrwerkzeug verbunden. Andererseits wird durch den Maschineneinsatz die Sensibilität des Bohrverfahrens gegenüber Hindernissen im Boden reduziert, d.h. der Schlag auf ggf. sprengfähige Materialien in der Bodenschichtung kann nicht unmittelbar erkannt werden. Im hochgradig mit STV belasteten Bereich ist es sinnvoll, mit Schneckenbohrverfahren zu arbeiten. Damit kann die Explosionsgefahr reduziert werden, da keine schlagförmigen Erschütterungen auf sprengfähige Stoffe aufgebracht werden. Die Expositionsmöglichkeit durch geförderte Bohrmaterialien (perkutant und inhalativ) ist jedoch nicht zu vermeiden. Hier ist nur der Einsatz der PSA als Präventionsmaßnahme möglich.

Bei den Schurfen ist eine weitestgehend maschinelle Erstellung praktikabel. Ein

Kleinstbagger kann nach Munitionsfreigabe die Schurfgruben erstellen. Hierbei kann auch eine Einweisung des Baggerfahrers durch einen seitlich postierten Beobachter erfolgen. Das ist sinnvoll, wenn z. B. Rohrleitungen zur Untersuchung freigelegt werden müssen. Für Kleinstbagger sind keine umluftbetriebenen Geräte serienmäßig vorhanden. So sind sowohl für den Baggerführer als auch das einweisende Personal die PSA bereitzuhalten und ggf. anzulegen (ausdrückliche Genehmigung durch die Aufsichtsbehörde einholen).

Die Bodenprobennahme sowohl bei den Bohrungen als auch bei den Schurfen ist eine manuelle Arbeit. Maschineneinsatz ist nicht möglich. Wichtig ist, dass keine Geruchsprobe durchgeführt wird. Die visuelle Betrachtung des Bohrgutes ist erforderlich. Es sollten auch Zerreibversuche stattfinden. Das Material ist nur mit angelegtem Schutzanzug und Schutzhandschuhen zu beproben. Ggf. ist je nach dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung der Atemschutz anzulegen.

Neu errichtete Grundwassermessstellen werden nach ihrer Fertigstellung klar gepumpt. Es müssen arbeitsschutzseitige Regelungen entsprechend dem nachfolgenden vierten Bearbeitungsschritt (GW- Probennahme) beachtet werden.

Die dritte Arbeitsstufe ist die Vermessung. Gefahren entstehen hierbei nicht, da kein Material bewegt wird. Es gelten die allgemeinen Arbeitsschutzregeln.

Für errichtete und bereits vorhandene Grundwassermessstellen erfolgt in der vierten Arbeitsstufe eine Wasserprobennahme. Expositionsgefahr besteht perkutan mit kontaminiertem Wasser bzw. inhalativ durch Ausgasungen aus dem Wasser. Zur Vermeidung von Expositionen sollten geschlossene Pump- und Probennahmesysteme verwendet werden. Das bei der Probennahme und beim Klarpumpen geförderte Wasser sollte, wenn möglich, vor Ort mittels einer mobilen Aktivkohleeinheit abgereinigt und abgeleitet werden. Die Sammlung von Wässern in z. B. ASF-Behältern mit anschließender Entsorgungsabsicht ermöglicht Expositionen beim Einleiten und bei der Deklarationsprobennahme. Sollte dieser Weg gewählt werden so sind Vorrichtungen zu schaffen, die ein Einleiten der Wässer über einen Stutzen o. ä. am ASF- Behälter ermöglichen. Die Probennahme für die Deklaration selbst kann an einem Hahn im Fördersystem erfolgen.

In jedem Arbeitsschritt fallen kontaminierte Werkzeuge an. Hier besteht perkutane und inhalative Expositionsgefahr. Die Reinigung der Materialien hat unter Anlegung der PSA zu erfolgen.

Weiterhin werden bei den Vorschachtungen, den Bohrungen und den Schurfen kontaminierte Bodenmaterialien gefördert, die nicht zur Probennahme dienen (Bohrgut,

Aushub aus den Schurfgruben). Die Entsorgungswege für kontaminierte Materialien müssen vor Baubeginn geklärt werden. Sinnvoll wäre die Bereitstellung von Containern direkt an der Bohr- / Schurfstelle. Augenscheinlich kontaminiertes Material kann dann sofort eingefüllt werden. Unkontaminiertes Material kann zur Verfüllung genutzt werden.

6.2.6 Persönliche Schutzausrüstungen

6.2.6.1 Festlegung von Schutzstufe und Leistung der besonderen persönlichen

Schutzausrüstungen entsprechend der Schutzzoneneinteilung bzw. der Tätigkeiten mit Gefahrstoffexposition

Die Schutzstufen sind in der Tabelle 16 als Schutzklassen mit Zuordnung der persönlichen Schutzausrüstung eingeteilt. Schutzstufen dienen gemäß § 7 Abschnitt 3 der Gefahrstoffverordnung zur Gefährdungsbeurteilung. Sie bauen aufeinander auf und beschreiben Maßnahmen (technische, organisatorische und persönliche). Sie sollen auch Kriterien zur Überprüfung der Wirksamkeit getroffener oder bereits vorhandener Schutzmaßnahmen enthalten.

Tabelle 16: Zuordnung der persönlichen Schutzausrüstung zu den einzelnen Schutzklassen

Schutzklasse	Standard der persönlichen Schutzausrüstung	Betroffene Arbeitsbereiche
1	<p>Anzulegende PSA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bausicherheitsschuhe (Schnürstiefel) der Klasse S 3 • Bauschutzhelm <p>Vorzuhaltende PSA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vollmaske mit Filtertyp A2 B2 P3 • Chemikalienbeständige Schutzhandschuhe • Einwegschutzanzug Kategorie 3 mit Schutz gegen Stäube (Typ 5) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrpunktfreimachung (Bewuchs entfernen, Grasnabe entfernen) • Schurfherstellung (Maschinenführer) • Munitionsfreigabe (Munitionssucher) • Vermessung
2	<p>Anzulegende PSA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bausicherheitsgummistiefel der Klasse S 3 • Bauschutzhelm • Einwegschutzanzug Kategorie 3 mit Schutz gegen Stäube (Typ 5) und flüssigkeitsdicht (Typ 3) • Chemikalienbeständige Schutzhandschuhe <p>Vorzuhaltende PSA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vollmaske mit Filter Typ A2 B2 P3 	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrarbeiten (Personal für Kleinrammbohrungen und Trockenbohrungen) • Wasserprobenehmer • Reinigung Werkzeuge und Geräte
3	<p>Anzulegende PSA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bausicherheitsschuhe (Schnürstiefel) der Klasse S 3 • Einwegschutzanzug Kategorie 3 mit Schutz gegen Stäube (Typ 5) • Bauschutzhelm mit Augenschutzschirm • Chemikalienbeständige Schutzhandschuhe <p>Vorzuhaltende PSA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vollmaske mit Filtertyp A2 B2 P3 	<ul style="list-style-type: none"> • Munitionsfreigabe (Handschachtungen, Munitionssuche) • Schurfherstellung (Einweiser)

6.2.6.2 Festlegung der Intervalle von Unterweisung und Übungen

Personen, die sich auf der Baustelle aufhalten, sind spätestens vor Betreten des Betriebsgeländes an Hand der erstellten Betriebsanweisung zu unterweisen und sind dabei u. a. auf die allgemeinen Verhaltensregeln, auf die von den Kontaminationen ausgehenden Gesundheitsrisiken hinzuweisen und mit den erforderlichen Schutzmaßnahmen vertraut zu machen.

Die Unterweisungen sind in der für die Beschäftigten verständlichen Sprache, inhaltlich verständlich durchzuführen. Inhalt und Zeitpunkt sind schriftlich festzuhalten und von den Unterwiesenen schriftlich zu bestätigen.

Inhalt der Unterweisung im einzelnen wie folgt:

- AS Plan
- Allgemeine Verhaltensregeln (siehe Abschnitt 6.2.3)
- Betriebsanweisung
- Notfallplan
- Selbst- und Kameradenhilfe
- Handhabung der persönlichen Schutzausrüstung
- Handhabung Dekontaminationsmittel und –ausrüstung
- Handhabung von Brandschutzmitteln
- Handhabung von Bergemitteln

Insbesondere die Bergung Verletzter ist durch eine praktische Übung zu trainieren. Aufgrund des temporären Charakters der Arbeiten in kontaminierten Bereichen kann auf eine Wiederholung der Unterweisung verzichtet werden. Da die Möglichkeit eines Brandes oder einer Explosion nicht auszuschließen ist, ist vor Aufnahme der Tätigkeiten eine Erste-Hilfe- und Brandschutz-Übung abzuhalten.

6.2.7 Begleitendes Gefahrstoffmessprogramm zu Überwachung der Arbeitsplatzbedingungen

Die Messungen sollen das gefahrlose Arbeiten am Arbeitsplatz überprüfen. Dabei ist Ziel der Messungen, ob die maßnahmebezogen festgelegten maximalen Arbeitsplatzwerte eingehalten oder überschritten werden. Das Überschreiten der Werte ist als Auslöseschwelle für das Anlegen die o. g. vorzuhaltenden PSA zu verstehen. Eine kontinuierliche Messung

wird für nicht erforderlich gehalten. Die Messungen sind stichprobenartig durchzuführen. Dazu sind Gasprüfröhrchen, z. B. für die möglichen Nitroaromaten, und Handpumpen, Photoionisationsdetektoren oder Ionenmobilitätspektrometer vorzuhalten.

6.2.8 Entsorgung

6.2.8.1 Verhaltensregeln zur Handhabung und Entsorgung kontaminierter Schutzausrüstungen und anderer kontaminierter Gegenstände

Es sind nachfolgende Verhaltensregeln zu beachten:

- Im Vorfeld der Arbeiten ist der Entsorgungsweg zu klären.
- Alle Behältnisse mit kontaminierten Verbrauchsgegenständen sind in luftdicht verschließbaren Behältnissen bis zur Abholung durch den Fachentsorger zu lagern.

6.2.8.2 Verhaltensregeln zur Handhabung und Entsorgung kontaminierter Wässer aus Dekontaminationsanlagen

Es sind nachfolgende Verhaltensregeln zu beachten:

- Dekontaminationswässer sind im Bereich der Dekontaminationsplätze aufzufangen und in geeigneten verschließbaren zugelassenen Gefahrgutbehältnissen zu sammeln.
- Das Wasser der Schwarz-Weißanlage ist separat aufzufangen und zu entsorgen.

6.2.9 Dokumentation und Nachweise

6.2.9.1 Festlegung der vom Koordinator vorzunehmenden Dokumentationen

Folgende Dokumentationen sind durch den Koordinator /Aufsichtsperson zu führen:

- den Arbeits- und Sicherheitsplan mit Gefahrenbeurteilung als Dokument vor Beginn der Probennahmearbeiten
- Aufstellen der Notfallkette
- Nachweis der fachlichen Eignung der Firma und der Fachaufsicht
- Nachweis über den Entsorgungsweg für die Entsorgung von Abfällen

- Protokolle dieses Arbeitssicherheitsplanes
- Erstellung einer Betriebsanweisung nach BGR 126, BGR 128, BGI 833

6.2.9.3 Festlegung der vom Auftragnehmer vorzunehmenden Dokumentationen bzw. vorzulegenden Nachweise

Folgende Dokumentationen sind vom einzelnen Auftragnehmer vorzulegen. Sie werden als Kopie zur Anlage zum Arbeits- und Sicherheitsplan der Aufsichtsperson übergeben.

- Notfallausweise
- Ersthelfernachweise
- Anzeige nach Gefahrstoffverordnung
- Anzeige der zuständigen Berufsgenossenschaft mit Anschrift und Benennung des zuständigen Sicherheitsingenieurs
- Kalibriernachweise der Messtechnik
- Überprüfungen der eingesetzten Arbeitsschutzbekleidungen
- Nachweis der Übungen und Unterweisungen

7 Zusammenfassung

Durch zwei Weltkriege, besonders aber durch den letzten und den darauf folgenden kalten Krieg, kam es auf deutschem Boden zur Massenproduktion und durch direkte Kriegseinwirkung zum massenhaften Einsatz von Sprengstoffen.

Die Untersuchung von Boden- und Grundwasserbelastungen mit Sprengstoffen und deren Abbauprodukten geraten in zunehmendem Maße in den Blickpunkt der Öffentlichkeit.

Die Suche der Quellen von Grundwasserkontaminationen mit sprengstofftypischen Verbindungen, die auch zu Trinkwasserversorgungsproblemen führen können, bereiten oft große Schwierigkeiten.

Die durchgeführte Literaturrecherche ergab in der nationalen und internationalen Literatur nur wenige Veröffentlichungen, die die Probennahme in mit STV belasteten Bereichen marginal behandeln, z. B. [Joos, 2008, Schwendner, 2010].

Der Schwerpunkt liegt vorwiegend im Bereich der Analytik und Bewertung von Kontaminationen. In der Dissertation von Trommsdorf [2007] wird auf die zunehmende Gefährlichkeit der Sprengstoffe durch Alterungsprozesse aufmerksam gemacht.

Der arbeitssicherheitstechnische Aspekt und die rein rechtlichen Bestimmungen des Sprengstoffgesetzes werden in der Literatur nahezu nicht behandelt.

In der vorliegenden Dissertation werden nach Auswertung von Datenbanken und Altlastenkatastern häufig in den Boden, in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser gelangte STV beschrieben.

Insbesondere die Abbauprodukte der Sprengstoffe haben häufig eine hohe Mobilität, die durch die Adsorptionsfähigkeit an Ton (reversibel) und Humus (irreversibel) wieder eingeschränkt werden kann. Die Flüchtigkeit ist bei der Probennahmetechnologie, besonders bei den Ausgangsstoffen und Produktionsrückständen der Sprengstoffe, zu berücksichtigen. Aus den eigenen Erfahrungen des Autors bei der Probennahme in Sprengstoffwerken, auf Übungs-, Schieß-, Sprengplätzen, in bombardierten Großstädten usw., sind standorttypische Besonderheiten und oft unerklärbare Phänomene im Vorkommen und Austragsverhalten von sprengstofftypischen Verbindungen zu beobachten. Die durch Ansprengen, bzw. durch Deflagration entstandenen unterschiedlich großen Sprengstoffpartikel bis zu Sprengstoffbrocken führen zu extremen Inhomogenitäten in den belasteten Böden. Weitere Ursachen für inhomogene Verteilungen in Böden sind Auskristallisationen von mit sprengstofftypischen Verbindungen belasteten Wässern (undichte Abwasserkanäle und Produktionsanlagen), aber auch Schlamm- und Staubverfrachtungen. Der Nachweis erfolgt durch vergleichende mikroskopische Untersuchungen, Schnelltests und Laboranalytik.

Dazu wurde auch ein noch laufendes Forschungsprojekt zur Durchführung von Ringversuchen sprengstoffbelasteter Böden einbezogen, an dem der Autor dieser

Dissertation beteiligt ist (Gutachten zur „Vorbereitung der Ringuntersuchung zur Validierung der Norm zur Bestimmung sprengstofftypischer Verbindungen in Böden“, FKZ: 360 13 011).

Durch Umwelteinwirkungen und Alterungsprozesse auf Sprengstoffe ändern sich deren Eigenschaften zu Ungunsten der Handhabungssicherheit (chemische Stabilität, Sensibilität gegen Schlag, Reibung, Wärme usw.).

Neben der Sicherung der chemischen Stabilität der Proben bis zur Analyse ist der Probennehmer gegen Explosion und Vergiftung zu schützen. Es wurde ein Vergleich der Eigenschaften ausgewählter Sprengstoffe mit auftretenden Energien, die bei Sondierungen auf das Bohrgut wirken, durchgeführt. Bei Rammkernsondierungen ist die Auslösung von Detonationen demnach sicher. Aber auch bei drehenden Bohrverfahren, bei denen im Bohrkronenbereich große Reibung und Hitze entsteht, kann es zur Detonationsauslösung kommen.

Aus den eigenen Erfahrungen des Autors wurden in speziellen Fallbeispielen Probennahmestrategien und Probennahmeverfahren vorgestellt. Es handelt sich u. a. um die Probennahme hoch belasteter Grundwässer eines Sprengstoffwerkes. In diesem Beispiel wird verdeutlicht, wie die Geruchsintensitäten mit Laboranalysergebnissen korrelieren.

Es ist nicht nur die Intensität des Geruchs, sondern auch die Eigenart zu beachten. Die BG Bau weist bei Vorhandensein von Gefahrstoffen darauf hin, dass die ausdrückliche Anweisung der Geruchsprobe strafrechtliche Konsequenzen haben kann.

Bei groß angelegten Bodenuntersuchungen in diesem Sprengstoffwerk wurden durch den Autor Vor-Ort-Schnelltests der Laboranalytik in einem ausgewählten Beispiel gegenübergestellt.

Der nachgewiesene Zusammenhang der tatsächlichen Gehalte mit den Testergebnissen ist von großer praktischer Bedeutung.

Es wurden Vor-Ort-Tests und Vor-Ort-Analysemethoden auch für militärisch genutzte Liegenschaften vorgestellt. Von kleinen Handgranatenwurfanlagen können große Grundwassergefährdungen ausgehen. An einem solchen Beispiel erfolgt eine Eingrenzung des kontaminierten Bereiches mittels Schnelltest. Die Laboranalytik wurde zur Beweissicherung genutzt.

Im Bereich der Vor-Ort-Analytik auf sprengstofftypische Verbindungen besteht erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Hier müssen z. B. bereits vorhandene Verfahren mit mobilen Geräten validiert werden.

Wie das Ergebnis einer Probennahme ohne begleitende Vor-Ort-Messungen aussehen kann, wird anhand der Untersuchung eines Artilleriezielfeldes mit Sprengplatz veranschaulicht. Nach 30 aufwändig durch den Autor dieser Arbeit mit einem Feuerwerker in einem hochgradig mit Kampfmitteln belasteten Bereich entnommenen Mischproben, hatte man nur einen positiven Befund auf sprengstofftypische Verbindungen. Später wurde dieser

Bereich mit einer Magnetabscheideranlage wochenlang geräumt. Der Boden wurde wieder eingebaut. Hierbei fand keine Vor-Ort-Analytik und Probennahme statt.

Mit den Erkenntnissen aus den Untersuchungen im Rahmen dieser Dissertation wurden für die Probennahme von Boden, Grund- und Oberflächenwasser sowie Bodenluft leitfadenartig Verfahrensbeschreibungen erstellt.

Diese entsprechen dem Stand der Normung und den Anforderungen der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (Novellierungsstand: Dezember 2010). Es wird besonders auf die notwendigen Vor-Ort-Untersuchungen bei Kontaminationen mit sprengstofftypischen Verbindungen hingewiesen.

Im Teil Arbeitssicherheit wird auf den unmittelbaren und unabdingbaren Zusammenhang zwischen Arbeitsrecht und Sprengstoffgesetz eingegangen. Probennahmen in Bereichen, die mit Sprengstoffen und mit Kampfmitteln belastet sind, fallen nicht nur unter die Berufsgenossenschaftlichen Regeln zu Arbeiten in kontaminierten Bereichen. Gerade hier gelten das Sprengstoffgesetz - SprengG und die Gefahrstoffverordnung - GefStoffV.

Es müssen neben der TRGS 524 – Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen, den BG-Regeln, hier BGR 128 – Arbeiten in kontaminierten Bereichen sowie nach den Anforderungen des SprengG die BGI 833 - Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen bei der Kampfmittelräumung und auch die allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechend beachtet werden. Der Auftraggeber hat nach berufsgenossenschaftlichem und neuem Gefahrstoffrecht alle Ergebnisse von Recherchen und Erkundungen den Auftragnehmern (der Untersuchungsstelle für Probennahme), zur Verfügung zu stellen. Der Unternehmer hat nach § 5 Abs. 1 Arbeitsschutzgesetz vor der Probennahme zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind. Bereits bei Verdacht auf Sprengstoff und Kampfmittel muss der Koordinator eine verantwortliche Person nach § 20 Abs.1 Nr. 3 Sprengstoffgesetz sein oder es muss ihm eine solche Person an die Seite gestellt werden. Diese Person hat bei der Probennahme zwingend anwesend zu sein und darf als einzige mit Sprengstoff und Kampfmitteln umgehen.

In einem Anwendungsbeispiel als praxiserprobte Variante wird die Arbeitssicherheitsplanung leitfadenartig dargestellt. Hier sind auch die Anforderungen an den Probennehmer und die verantwortliche Person nach § 20 dargestellt.

Im Anhang 1 befindet sich eine Mustergliederung eines Arbeits- und Sicherheitsplanes für die Probennahme in Verdachtsbereichen auf Kontaminationen mit STV und

Sprengstoffrückständen. Weiterhin werden hier normative Verweise dargestellt, die durch die Unterarbeitsgruppe Probennahme des Sektorkomitees Chemie der Deutschen Akkreditierungsstelle im Internet in der jeweils aktuellsten Form bereitgestellt werden sollen.

Summary

The need for this dissertation on sampling on explosives contaminated sites arose as a result of the increasing public awareness of the situation of sites contaminated with war and military waste. Literature research showed only few publications on sampling in this field.

Only explosives and their degradation products with properties relevant for sampling are investigated, which are found frequently in soil as well as surface and ground water.

On practical examples from the author's own experience conclusions on sampling are drawn. In addition to assuring the chemical stability of the explosives from sampling till analysis, the protection against explosion and toxicity of the person taking the samples must be considered.

In the field of on-site analysis of explosives there is an immense need for research and development.

A guidance document containing procedures on sampling of soils, ground and surface water as well as air in soils is established based on the experience and knowledge gathered from the research done for this dissertation.

In the section of occupational safety, the immediate connections between the Labour Law, Regulations of the institution for statutory accident insurance and prevention and Explosives Act are described.

Upon any suspicion of explosives and Unexploded Ordnance the coordinator must be a designated responsible person according § 20 Clause 1 No. 3 of the Explosives Act or such a person has to be present in addition during the whole sampling activities. This person must be the only one allowed to handle the explosives and Unexploded Ordnance.

In a field tested application example the occupational safety planning is described as a guideline. In the appendix an example for a layout of an occupational health and safety plan for the sampling on sites suspected of explosive contamination is included.

8 Literaturverzeichnis

- AD-HOC-ARBEISGRUPPE BODEN der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Vorsitz Wolf Eckelmann: Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz - Auszug aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5, E. Schweizerbart`sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Hannover 2009
- AD-HOC-ARBEISGRUPPE BODEN der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Vorsitz Wolf Eckelmann: Bodenkundliche Kartieranleitung, E. Schweizerbart`sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Hannover 2005
- Bayrisches Landesamt für Umweltschutz: Fachtagung am 14. Oktober 2004 Rüstungsaltslasten Fachinformation und Erfahrungsaustausch, Augsburg, 2004
- BGI 833: Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen bei der Kampfmittelräumung, BG BAU Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Oktober 2007
- BGR 114 (bisher ZH 1/47): Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Zerlegen von Gegenständen mit Explosivstoff oder beim Vernichten von Explosivstoff oder Gegenständen mit Explosivstoff (Explosivstoff-Zerlege- oder Vernichteregel) Fachausschuß "Chemie", Januar 1996
- BGR 128: Kontaminierte Bereiche, Fachausschuss "Tiefbau" der BGZ, vom April 1997, Aktualisierte Fassung Februar 2006
- BGV A8 (VGB 125): Unfallverhütungsvorschrift Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz (bisherige VBG 125) vom 1. April 1995, in der Fassung vom 1. Januar 2002 mit Durchführungsanweisungen vom Januar 2002
- Biedermann R.: Die Sprengstoffe, Ihre Chemie und Technologie, Verlag B. G. Teubner in Leipzig und Berlin, 1917
- Brannon, J. M. & Pennington, J. C.: Environmental Fate and Transport Process Descriptors for Explosives. - ERDC/EL TR-02-10., 2002
- Bücherl K., Kückler F., Schmid M.: Projekt zur externen Qualitätssicherung bei der Probennahme von Boden, Bayrisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2009
- Bücherl K., Kückler F., Spigath Th.: Statusreport "Aktuelle Fragen zur Bodenluftprobennahme", Bayrisches Landesamt für Umwelt, Hof/Saale, 2009

Ciumasu I. M.: Development of a miniaturized immunochemical flow-injection system for on-site analysis of selected nitroaromatics and pesticides in water, Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigten Dissertation, 09.11.2005

Clausen, J. L. et al.: Conceptual Model for the Transport of Energetic Residues from Surface Soil to Groundwater by Range Activities. - ERDC/CRREL TR-06-18., 2006

DAkKS: Musterurkunde Probennahme, Berlin, 2010

Dehner, U., T. Bausinger & J. Preuß: Adsorption von Nitroaromaten an unterschiedlichen Saugkerzenmaterialien; altlasten spektrum, 6/2003, 295-299.

DIN 4124: Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten, Ausgabedatum: 2002-10

DIN 10381-3: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 3: Anleitung zur Sicherheit (ISO 10381-3:2001), Ausgabedatum: 2002-08

DIN 18123: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung, Ausgabedatum: 1996-11

DIN EN ISO 22476, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO/DIS 22476-1:2009); Deutsche Fassung prEN ISO 22476-1:2009

Eisenbahn-Verkehrsordnung (EVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. April 1999 (BGBl. I S. 782), die zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 26. Mai 2009 (BGBl. I S. 1146) geändert worden ist

Feige-Munzig: Arbeitsschutz bei der Erkundung kontaminierter Standorte, Marktredwitzer Bodenschutztag Tagungsband 6: 06.-08.10.2010

GefStoffV: Verordnung zur Neufassung der Gefahrstoffverordnung und zur Änderung sprengstoffrechtlicher Verordnungen vom 26.11.2010 im Bundesgesetzblatt (BGBl. I, S. 1643)

Google Earth 2010 (Luftbildabbildung)

Haas R., Preuß J., v. Löw E. und Stork G.: Sprengstoffrückstände in Boden und Grundwasser auf dem Gebiet der ehemaligen Sprengstofffabriken in Stadtallendorf/Hessen, Arbeitsgruppe "Umweltkontamination und Altlasten" an der Philipps-Universität Marburg, Hans-Meerwein-Str., 3550 Marburg, Expertengespräch Rüstungsaltslasten, 25./26. April 1989 in Hannover, 1989

Haas, R., Mitarbeit Thieme, J.: Explosivstofflexikon, Bestandsaufnahme von Rüstungsaltslastenstandorten in der Bundesrepublik Deutschland, UBA-FB 96-030/2, 4/1996

Hennecke, D., Hund-Rinke K.: Zusammenstellung und Bewertung der Wirkung von sprengstofftypischen Verbindungen auf Böden sowie Vergleich von Untersuchungsverfahren zur Bestimmung sprengstofftypischer Verbindungen in Böden, FKZ: 332 01 005, Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME), Schmallenberg, 26.02.2008

Hennecke, D., Kuchler, F.: Gutachten zur „Vorbereitung der Ringuntersuchung zur Validierung der Norm zur Bestimmung sprengstofftypischer Verbindungen in Böden“, FKZ: 360 13 011, Schmallenberg, 14. Juni 2010

Hewitt, A., Bigl, S., Walsh, M., Brochu, S., Bjella, K., Lambert, D. (2007): Processing of Training Range Soils for the Analysis of Energetic Compounds; U.S. Army corps of engineers, ERDC/CRREL, TR-07-15

Hewitt, A. D. et al. Hewitt, A. D. et al. (2007): Protocols for Collection of Surface Soil Samples at Military Training and Testing Ranges for the Characterization of Energetic Munitions Constituents. - ERDC/CRREL TR-07-10

Hund-Rinke, K. (2008): Ökotoxikologische Untersuchungen – Ergebnisse für STV, Anwendbarkeit und Aussagekraft. KORA Themenverbund 5: Nutzung von Natural Attenuation Potenzialen in mit Sprengstofftypischen Verbindungen (STV) belasteten Böden und Grundwässern.

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): GESTIS-Stoffdatenbank, 1996

Jenkins, T.F., Hewitt A.D, Walsh M.E., Ranney T.A., Ramsey C.A., Grant C.L., Bjella K.L.: Representative sampling for energetic compounds at military training ranges. Environmental Forensics 6: 45–55., 2005

Joos, A.: Leitfaden „Einschätzung und Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse auf Standorten, die mit sprengstofftypischen Verbindungen sowie deren Abbauprodukten belastet sind“, BMBF-Vorhaben „KORA“, Veröffentlichung in 2008

Köhler J. H., Meyer R., Homburg A.: Explosivstoffe, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008

Küchler F.: Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Probennahme im Geltungsbereich des Bundes-Bodenschutzgesetzes, Marktredwitzer Bodenschutztag, Tagungsband 6: 06.-08.10.2010

LAGA: LAGA-Richtlinie PN 98, Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen Grundregeln für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien, 2001-12

LABO: Fachmodul Boden und Altlasten, Bund- / Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), Stand: 20. Oktober 2000

Le Tissier: Durchbruch an der Oder, Der Vormarsch der Roten Armee 1945. Ullstein: 2. Auflage, 2001

Martinetz, D. & Rippen, G. (1996): Handbuch Umweltchemikalien. 26. Erg. Lfg.; Ecomed.

McCormick, N. G. et al.: Biodegradation of hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine. – Appl. Envir. Microbiol. 42(5); 817-823., 1984

Mulisch, H. M. et al.: Modulares System zur Bewertung des Wirkungspotentials von Gewässer- und Trinkwasser-Kontaminanten. – WaBoLu 03/08. 311s., 2008

Nitschke, L.: Aktueller Kenntnisstand zum umweltchemischen Verhalten. - Fachvortrag LfU / LGA Fachtagung Rüstungsaltslasten 2004, Augsburg., 2004

OFD-H: Anforderungen an Probennahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften (unter Online-Publikationen der BAM) Hannover, Oktober 2008

OFD-H: Arbeitshilfen Boden- und Grundwasserschutz, Planung und Ausführung der Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserverunreinigungen (AH OFD-H); Juli 2005

OFD-H: Arbeitshilfen zur wirtschaftlichen Erkundung, Planung und Räumung von Kampfmitteln auf Liegenschaften des Bundes (AH KMR); 31.10.2007

Radtke, C.W.: Laboratory investigation of explosives degradation in vadose zone soil using carbon source additions; Dissertation Texas Tech University, May 2005

Radtke, C.W., Gianotto, D., Roberto, F.F.: Effects of particulate explosives on estimating contamination at a historical explosives testing area; chemosphere, 46, 2001, 3-9

Schwarz, Dr. S. Krebs, Dr. H.: Abschätzung: N₂O – Emissionen bei der Verwendung von Sprengstoffen, UBA-Workshop N₂O-Emissionen, 28.05.2009

Schwendner A.: Arbeitshilfen für die Untersuchung von Sprengplätzen in Bayern, LfU Bayern (Hrsg.), 3/2010

SprengG: Sprengstoffgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. September 2002 (BGBl. I S. 3518), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist

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

Terytze, K.: Vergleichende Bewertung der Verfahren und Methoden des Anhangs 1 der BBodSchV mit aktuellen Fassungen, internes Arbeitspapier zur Novellierung der BBodSchV, Stand Mai 2007, persönliche Mitteilung

Terytze, K.: Vortrag zur Begutachtzerschulung Block E der deutschen Akkreditierungsstelle zur Novellierung der BBodSchV, 01.10.2010

Trimborn, Friedrich: Explosivstofffabriken in Deutschland, Ein Nachschlagewerk zur Geschichte der Explosivstoffindustrie, Verlag Locher, Köln 2002

TRGS 524: Technische Regel für Gefahrstoffe 524 Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen (TRGS 524), Ausgabe: Februar 2010, GMBI 2010 Nr. 21 S. 419-450 (01.04.2010) Geändert und ergänzt: GMBI 2010 Nr. 34 S. 746 (21.06.2010) berichtigt: GMBI 2010 Nr. 43 S. 912 (04.08.2010)

Trommsdorf: Veränderungen der Stoffeigenschaften und der sicherheitstechnischen Parameter von Fundsprengstoffen durch langfristige Umwelteinflüsse. Dissertation an der Technischen Universität Berlin, 28.08.2007

UBA-FB 000303: Evaluierung von verfahren für die Untersuchung von Böden nach § 8 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), Umweltbundesamt Berlin, August 2002

Umweltbundesamt: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009 Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2007, Umweltbundesamt, 19.01.2009

USAF: US Air Force, The United States Strategic Bombing Survey – Statistical Appendix to over-all Report (European War). February 1947.

US EPA: Method 8330B Nitroaromatics, Nitramines, and Nitrate Esters by Performance Liquid Chromatography (HPLC). 2006 - www.epa.gov/SW-846/pdfs/8330b.pdf

US EPA: Method 8095 Explosives by Gas Chromatography. 2007 -
www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8095.pdf

Verordnung der Bundesregierung: Verordnung zur Festlegung von
Gefahrstoffschwellenwerten für die Einleitung in das Grundwasser, die Verwendung von
Ersatzbrennstoffen und Verfüllung mit Boden und bodenähnlichem Material, Stand:
29.10.2010

v. Unold G.: Empfehlungen für die Gewinnung von Bodenwasser mittels Saugkerzen oder
keramischen Platten. UMS GmbH; 2000

Wennerström, O.: A Meisenheimer Compound from 2,6-Dimethoxyphenylsilver and 1,3,5-
Trinitrobenzene, Acta Chemica Scandinavica 25 (1971) 2341-2349

Wessel-Bothe, S., S. Pätzold, C. Klein, G. Behre und G. Welp: Adsorption von
Pflanzenschutzmitteln und DOC an Saugkerzen aus Glas und Keramik; J. Plant Nutr. Soil
Sci., Bd. 163, 53-56., 2000

Winkelmann K., Fischer A.: Bestimmung des Bohrlochabstandes bei der Magnetischen
Bohrlochsondierung für die Suche nach Bombenblindgängern, Sensorik &
Systemtechnologie GmbH, 02.08.2009

Wollin, k-M., Levsen, K.: Schnelle Vor-Ort-Analytik zur Untersuchung von
Rüstungsaltslasten, Rüstungsaltslasten in der UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 11 (6) 1999

Zeisberger V. 1 & Swaboda D. 2: Sind Saugkerzen bei den altlastrelevanten Schadstoffen
PAK und MKW einsetzbar? Aktualisiert Stand Feb. 2005

9 Anhang 1

9.1 Muster für Gliederung und Inhalte des Arbeits- und Sicherheitsplanes für die Probennahme in Verdachtsbereichen auf Kontaminationen mit sprengstofftypischen Verbindungen und Sprengstoffrückständen nach TRGS 524, BGR 128, BGI 833

1 Allgemeine Daten

- Name des Projektes, des Probennahmebereiches bzw. der Liegenschaft
- Name des Auftraggebers, beteiligte Behörden, der Dienststellen des Arbeitsschutzes, des staatlichen Kampfmittelräumdienstes, der Gutachter
- Name des Koordinators nach der BG-Regel "Kontaminierte Bereiche" (BGR 128) und seiner Stellvertreter einschließlich Festlegung deren Weisungsbefugnisse
- Name der Verantwortliche Person nach § 20 Abs.1 Nr. 3 Sprengstoffgesetz und seiner Stellvertreter einschließlich Festlegung deren Weisungsbefugnisse
- Anlass der Probennahme
- Bezeichnung des vom Arbeits- und Sicherheitsplan betroffenen Personenkreises
- Gültigkeitsdauer (zeit- bzw. probennahmeplanbezogen)

2 Standortbeschreibung

- Nutzungsgeschichte des Standortes, Lageplan mit Gesamtausdehnung der Liegenschaft, der Kontaminationsverdachtsbereiche, des Probennahmebereiches und der Probennahmestellen
- Zusammenfassende Darstellung der bisherigen Erkundungen und Sanierungsuntersuchungen einschließlich Lageplan, z.B. zu den Probennahmestellen-Lageplan der einzelnen Verdachtsbereiche und deren Ausdehnungen einschließlich Angaben sicherheitsrelevanter Konzentrationen der Kontaminanten im Boden, Grundwasser, Bausubstanz, Kampfmittel oder Ähnlichem
- Regionale und lokale geologisch-hydrogeologische Situation des Probennahmebereiches (Schichtenverzeichnisse, geologische Schnitte, Grundwasserverhältnisse)

3 Stoffliche Ermittlung und Gefahrenanalyse

- Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Ermittlungen zu
 - o Kampfmitteln

- Sprengstoffen, deren Rückständen und Abbauprodukten
 - Gefahrstoffen
 - Tabellarische Zusammenstellung der zu erwartenden Sprengstoffe im Probennahmebereich und deren Eigenschaften bezüglich der Handhab- und Beprobbarkeit (ggf. sind vor der eigentlichen Probennahme Tests auf Sensibilitäten bezüglich Explosion durchzuführen)
 - Tabellarische Zusammenstellung zu erwartender Kampfmittel und Bewertung des Zustandes , u. a. auf Selbstdetonation, Detonation durch Fremdeinwirkung, austretende Explosivstoffe und Kampfstoffe
 - Tabellarische Zusammenstellung der auf Grund ihrer physikalisch-chemischen oder toxikologischen Eigenschaften und ihrer angetroffenen Konzentration hinsichtlich des Gesundheitsschutzes zu berücksichtigenden Gefahrstoffe gemäß Bewertungsparametern nach den Technischen Regeln für Gefahrstoffe TRGS 524 "Sanierungen und Arbeiten in kontaminierten Bereichen"
 - Zusammenstellung eventueller gefährdungsrelevanter Wirkungen und Symptome bei Gefahrstoffaufnahme, z.B. Kopfschmerzen, Schwindelgefühle, Schleimhautreizungen
- 4 Ermittlung der Arbeitsbereiche, Arbeitsverfahren, Tätigkeiten und der arbeitsbereichs- und tätigkeitsbedingten Faktoren der Exposition ("Arbeitsbereichsanalyse")
- Einteilung der Liegenschaft in verschiedene Arbeitsbereiche mit potenzieller Exposition
 - Beschreibung der Verfahrensschritte und Arbeitsweisen der Probennahme pro Probennahmeverfahren und ggf. Arbeitsbereich bei unterschiedlichen Gefahrenlagen einschließlich zeitlicher Ablauf der Bearbeitung
 - Ermittlung der einzelnen Tätigkeiten, bei denen mit einer Gefährdung durch Gefahrstoffe, Sprengstoffe bzw. Kampfmittel zu rechnen ist
 - Ermittlung der verfahrens- und umgebungsbezogenen Kriterien der Emission/Exposition/Explosion
- 5 Gefährdungsbeurteilung
- Tätigkeits- und Probennahmebezogene Zusammenführung der Ergebnisse der Gefahren- und Arbeitsbereichsanalyse zur einer potenziellen Expositionsabschätzung (Verletzungs- und Gesundheitsgefahren durch Druckwellen

und Splitter explodierender Munition, Verbrennungen, Vergiftungen bei Antreffen von Gefahrstoffen bzw. chemischen Kampfstoffen)

6 Arbeits- und Gesundheitsschutz

6.1 Allgemeingültige Schutzmaßnahmen

- Maßnahmen entsprechend den jeweiligen Schutzstufenkonzepten nach der Gefahrstoffverordnung
- Beschreibung der speziellen Baustelleneinrichtung für die Probennahme unter den Bedingungen von Arbeiten in kontaminierten Bereichen incl. Lageplan
- Einteilung des Probennahmebereiches bzw. der zu beprobenden Liegenschaft in Schutzzonen, z.B. Schwarz-Weiß-Bereiche, A-B-C-Zonen, einschließlich Lageplan entsprechend der verschiedenen Arbeitsbereiche nach Arbeitsbereichsanalyse
- Allgemeine Verhaltensregeln einschließlich Vorgaben zur Benutzung der Dekontaminationseinrichtungen und -anlagen
- Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung

6.2 Arbeitsbereichs- bzw. tätigkeitsbezogene Festlegungen zu technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen und zu persönlichen Schutzausrüstungen

- Anforderungen an das Arbeitsverfahren, z.B. "erschütterungsarm, ferngesteuert"
- Anforderungen an Maßnahmen zur Gefahrstofferrfassung ("Absaugung")
- Anforderungen an Maßnahmen zur blasenden Bewetterung
- Anforderungen an Maschinen, Fahrzeuge und Geräte
- Anforderungen an eventuell notwendige Abschottungsmaßnahmen, Deckung und Splitterschutz, z.B. Folientüren, Unterdruckhaltung, Schutzwälle, Unterstände, Sicherheitsglaswände, Splitterschutzwände
- Besondere Verhaltensregeln für den Gefahrenfall, gegebenenfalls Beschreibung möglicher Gefahrfälle (Munitionsfund, Fund von Sprengstoffbrocken, Rauchentwicklung, Schmauchgeruch)
- Anforderungen an Brand- und Explosionsschutz
- Ermittlung von Leitparametern zur messtechnischen Überwachung (chemisch und geophysikalisch, z. B. Ferromagnetik)
- Ermittlung der stoffbezogenen Schwellenwerte für den Einsatz zusätzlicher Schutzmaßnahmen beim Auftreten von Gefahrstoffen in der Atemluft in Staub-, Nebel-, Dampf- oder Gasform (10% der Arbeitsplatzgrenzwerte)
- Festlegung der Intervalle von Unterweisung und gegebenenfalls Übungen

- Festlegung der persönlichen Schutzausrüstungen
- Festlegung der Verantwortlichkeiten zur betriebsbereiten Vorhaltung von persönlichen Schutzausrüstungen, insbesondere Atemschutzgeräten (Wartung und Pflege)

7 Messkonzept zur Überwachung der Arbeitsplatzbedingungen

- Festlegung des Messziels am Ort der Probennahmetätigkeit
- Überwachung von Akutgefahren (Kampfmittel, Sprengstoffbrocken, ferromagnetische Anomalien im Untergrund, O₂, UEG, TOX)
- Auslösung von Schutzmaßnahmen bei Überschreitung von Schwellenwerten, Funden von Kampfmitteln und Sprengstoffbrocken
- Kontrolle der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen
- Dokumentation der Einhaltung bzw. Unterschreitung von Grenzwerten
- Festlegung der Messgeräte und -verfahren
- Festlegung der mittels direkt anzeigenden Messgeräten mit Alarmfunktion kontinuierlich durchzuführenden Überwachungsmessungen (UEG, O₂, Auslösung von Maßnahmen bei Überschreitung von Schwellenwerten und Detektion von ferromagnetischen Anomalien im Untergrund)
- Festlegung der Intervalle routinemäßig durchzuführender Kontrollmessungen, z.B. zur Überprüfung der Gültigkeit von Leitparametern
- Festlegung der Verantwortlichkeiten zur betriebsbereiten Vorhaltung der Messgeräte (Wartung, Pflege, Kalibrierung, messtechnische Rückführung)

8 Entsorgung, Transport, Verbringung

- Verhaltensregeln zur Handhabung und Entsorgung kontaminierter Schutzausrüstung und anderer kontaminierter Gegenstände
- Verhaltensregeln z.B. zur Handhabung und Entsorgung kontaminierten Wassers aus Stiefelwaschanlage und sonstiger Abfälle, wie gebrauchte Atemfilter, Schutzkleidung
- Verhaltensregeln zum Transport der Fundmunition bzw. des Sprengstoffs zum Tageslager (Aufbewahrungsbehälter) als Maßnahme der Gefahrenabwehr durch Verantwortliche Person nach § 20 Abs.1 Nr. 3 Sprengstoffgesetz
- Verhaltensregeln zur Art und Weise der Übergabe der Fundmunition bzw. des Sprengstoffs an den staatlichen Kampfmittelbergungsdienst

9 Dokumentation, Nachweise

- Festlegung der von den verschiedenen Beteiligten (Projektleiter/Gutachter des Auftraggebers, Koordinator, Verantwortliche Person nach § 20 Abs.1 Nr. 3 SprengG und ausführenden Unternehmen) vorzunehmenden Dokumentationen
- Festlegung der vom probennahmedurchführenden Unternehmen und der bei der Probennahme beteiligten Unternehmen (z. B. Bohrunternehmen) vorzulegenden Nachweise, z.B. Arbeitsmedizinische Vorsorge, Filterbuch, Befähigungsschein § 20 SprengG.

9.2 Normative Verweise – Musterurkunde Probennahme der Deutschen
Akkreditierungsstelle (aktuell auf www.dakks.de)

1 Untersuchung von Wasser und Abwasser

1.1 Probennahme

DIN EN ISO 5667-1 2007-04	Wasserbeschaffenheit Probennahme Teil 1: Anleitung zur Erstellung von Probenahmeprogrammen
und	
ISO 5667-1 Technical corrigendum 1 1996-02 (A)	Probennahmetechniken Wasserbeschaffenheit Probennahme Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahmeprogrammen Korrektur 1 <i>(zurückgezogene Norm)</i>
DIN EN ISO 5667-3 (A 21) 2004-05 (A)	Wasserbeschaffenheit Probennahme Teil 3: Anleitung zur Konservierung und Handhabung von Wasserproben
DIN EN ISO 5667-3 Berichtigung 1 2006-08	Wasserbeschaffenheit Probennahme Teil 3: Anleitung zur Konservierung und Handhabung von Wasserproben
DIN EN ISO 22475-1 2007-01	Geotechnische Erkundung und Untersuchung Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung
DIN EN 25667-2 1993-07 (A)	Wasserbeschaffenheit Probennahme Teil 2: Anleitung zur Probennahmetechnik <i>(zurückgezogene Norm)</i>
DIN 38402-A 11 2009-02	Probennahme von Abwasser (A11)
DIN 38402-A 12 1985-06 (A)	Probennahme aus stehenden Gewässern (A12)
DIN 38402-A 13 1985-12 (A)	Probennahme aus Grundwasserleitern (A13)
DIN 38402-A 15 1986-07 (A)	Probennahme aus Fließgewässern (A 15)

DIN 38402-A 30 1998-07 (A)	Vorbehandlung, Homogenisierung und Teilung heterogener Wasserproben (A 30)
AQS-Merkblatt P 8/1 1993-01	Probenahme von Abwasser
AQS-Merkblatt P 8/2 1995-05	Probenahme von Grundwasser
AQS-Merkblatt P 8/3 1998-05	Probenahme aus Fließgewässern
LAWA Grundwasserrichtlinie Teil 3 1993-03	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Grundwasserrichtlinie Teil 3: Grundwasserbeschaffenheit
DVWK 128 1992 (A)	Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben
DVWK 245 1997 (A)	Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen
DVGW W 121 2003-07	Bau und Betrieb von Grundwassermessstellen
DVGW W 115 2001-03	Bohrung zur Erkundung, Gewinnung und Beobachtung von Grundwasser
DVGW W 112 2001-07	Entnahme von Wasserproben bei der Erschließung, Gewinnung und Überwachung von Grundwasser

1.2 Ausgewählte physikalisch-chemische Untersuchungen

DIN EN ISO 7027 (C 2) 2000-04 (A)	Wasserbeschaffenheit Bestimmung der Trübung
DIN EN ISO 7887 (C 1) 1994-12 (A)	Wasserbeschaffenheit Untersuchung und Bestimmung der Färbung
DIN EN 25814 (G 22) 1992-11 (A)	Wasserbeschaffenheit Bestimmung des gelösten Sauerstoffs Elektrochemisches Verfahren
DIN EN 27888 (C 8) 1993-11 (A)	Wasserbeschaffenheit Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit

DIN 38404 (C 4) 1976-12	Bestimmung der Temperatur (C 4)
DIN 38404 (C 5) 1984-01 (A)	Bestimmung des pH-Wertes (C 5)
DIN 38404 (C 6) 1984-05	Bestimmung der Redox-Spannung (C 6)
DEV B 1/2 1971	Prüfung auf Geruch und Geschmack

2 Probenahme von Böden, kontaminierten Böden und Abfällen

DIN EN ISO 14688-01 2003-01	Geotechnische Erkundung und Untersuchung Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden Teil 1: Benennung und Beschreibung
DIN EN ISO 14688-2 2004-11	Geotechnische Erkundung und Untersuchung Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen
DIN EN ISO 14689-1 2004-04	Geotechnische Erkundung und Untersuchung Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels Teil 1: Benennung und Beschreibung
DIN ISO 10381-1 2003-08 (A)	Bodenbeschaffenheit Probenahme Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahmeprogrammen
DIN ISO 10381-2 2003-08 (A)	Bodenbeschaffenheit Probenahme Teil 2: Anleitung für Probenahmeverfahren
DIN ISO 10381-3 2002-08 (A)	Bodenbeschaffenheit Probenahme Teil 3: Anleitung zur Sicherheit
DIN ISO 10381-4 2004-04 (A)	Bodenbeschaffenheit Probenahme Teil 4: Anleitung für das Vorgehen bei der Untersuchung von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten
DIN ISO 10381-5 2007-02 (A)	Bodenbeschaffenheit Probenahme Teil 5: Anleitung für die Vorgehensweise bei der Untersuchung von Bodenkontaminationen auf urbanen und industriellen Standorten
E DIN ISO 10381-8 2004-01	Bodenbeschaffenheit Probenahme Teil 8: Anleitung zur Beprobung von Halden (zurückgezogene Norm)

ISO 10381-8 2006-04	Bodenbeschaffenheit Probenahme Teil 8: Anleitung zur Beprobung von Halden
DIN EN 932-1 1996-11 (A)	Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen Teil 1: Probenahmeverfahren
DIN 4021 1990-10 (A)	Baugrund Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben, in Erkundung und Untersuchung des Baugrundes (<i>zurückgezogene Norm</i>)
DIN 4022-1 1987-09 (A)	Baugrund und Grundwasser Benennen und Beschreiben von Boden und Fels Schichtenverzeichnisse für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und Fels (<i>zurückgezogene Norm</i>)
DIN 4022-2 1981-03 (A)	Baugrund und Grundwasser Benennen und Beschreiben von Boden und Fels Schichtenverzeichnisse für Bohrungen im Fels (Festgestein) (<i>zurückgezogene Norm</i>)
DIN 4022-3 1982-05 (A)	Baugrund und Grundwasser Benennen und Beschreiben von Boden und Fels Schichtenverzeichnisse für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein) (<i>zurückgezogene Norm</i>)
DIN 4023 2006-02 (A)	Geotechnische Erkundung und Untersuchung Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen
DIN 19671, Blatt 1 1964-05	Erdbohrgeräte für den Landeskulturbau Rillenbohrer, Rohrbohrer
DIN 19671, Blatt 2 1964-11	Erdbohrgeräte für den Landeskulturbau Gestänge, Flügelbohrer, Bohrschappe, Marschenlöffel, Spiralbohrer
DIN 19672, Blatt 1 1968-04	Bodenentnahmegерäte für den Landeskulturbau Geräte zur Entnahme von Bodenproben in ungestörter Lagerung
DIN 19672, Blatt 2 1968-04	Bodenentnahmegерäte für den Landeskulturbau Geräte zur Untersuchung und Entnahme von Moorbodenproben
DIN 19682-1 2007-11	Bodenbeschaffenheit Felduntersuchungen Teil 1: Bestimmung der Bodenfarbe
DIN 19682-2 2007-11	Bodenbeschaffenheit Felduntersuchungen Teil 2: Bestimmung der Bodenart

DIN 38414-S 11 1987-08	Probenahme von Sedimenten (S 11)
DIN 51750-1 1990-12	Prüfung von Mineralölen Probenahme Allgemeines
DIN 51750-2 1990-12	Prüfung von Mineralölen Probenahme Flüssige Stoffe
DIN 52101 2005-06 (A)	Prüfung für Gesteinskörnungen Probenahme
DIN EN ISO 5667-13 2009-05	Anleitung zur Probenahme von Schlämmen aus Abwasserbehandlungs- und Wasseraufbereitungsanlagen
Arbeitsanleitung BZE II Wald	Arbeitsanleitung für die zweite Bodenzustandserhebung im (BZE II), 2. Auflage vom November 2006
LAGA-Richtlinie PN 2/78 1983-12	Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen Entnahme und Vorbereitung von Proben aus festen, schlammigen und flüssigen Abfällen (<i>zurückgezogenes Regelwerk</i>)
LAGA-Richtlinie PN 98 2001-12	Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen Grundregeln für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien
VDLUF A Methodenbuch, Band I 1.2.1 1997 (A)	Entnahme von gestörten Bodenproben für bestimmte Zwecke Entnahme aus der Krume von Acker- und Gartenböden für die Untersuchung auf pflanzenverfügbare Nährstoffe
Methodenhandbuch Kompost I.A 2006-09	Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate Gütegemeinschaft Kompost e. V., Köln
BioAbfV, Anhang 3, Punkt 1.1 1998-09	Bioabfallverordnung
DepV, Anhang 4, Nr. 2 und Nr. 3.1.1 2004-08	Verordnung über Deponien und Langzeitlager
AltholzV, Anhang IV, Abschn. 1.1 2002-08	Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (AltholzV)

AbfKlärV, Anhang 1,
Abschn. 1.1, 2.1
1992-04 Klärschlammverordnung

AQS-Merkblatt P 8/4
2002-05 Probenahme von Schwebstoffen und Sedimenten

AltöIV, Anlage 2, Punkt 1
2004-02 Altölverordnung

3 Probenahme von Bodenluft

DIN ISO 10381-7
2007-10 Bodenbeschaffenheit
Probenahme
Teil 7: Anleitung zur Entnahme von Bodenluftproben

VDI 3865 Blatt 1
2005-06 Messen organischer Bodenverunreinigungen
Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf
leichtflüchtige organische Verbindungen

VDI 3865 Blatt 2
1998-01
(A) Messen organischer Bodenverunreinigungen
Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben;
Varianten 1, 2, 3 und 5

für alle Bereiche jeweils mitgeltende Unterlagen:

BAM-OFD-H
2008-10 Anforderungen an Probenahme, Probenvorbehandlung und
chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften

BBodSchV
1997-07 Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung
Juli 1999 (BGBl. I S. 1554)

NLfB/BGR
2002
(A) Symbolschlüssel Geologie - digital -, Hannover

ITVA
1995-09
(A) Arbeitshilfe F 2-1 „Aufschlussverfahren zur
Feststoffprobengewinnung für die Untersuchung von
Verdachtsflächen und Altlasten
Ingenieurtechnischer Verband Altlasten, Berlin 1995

Ad-Hoc-Arbeitsgruppe
Boden
1994
(A) Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage, Hannover

Ad-Hoc-Arbeitsgruppe
Boden
2005
(A) Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover

Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden 2009	Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz - Auszug aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5
Umweltbundesamt UBA Texte 10/95 (A)	Methodenhandbuch Bodenschutz I
Umweltbundesamt UBA Texte 26/95 (A)	Handlungsanleitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden Teil I Vorbemerkungen und theoretische Grundlagen Teil II Handlungsanleitung
Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 1996 (A)	Anleitung zur Entnahme von Bodenproben Geol. Jb. G 1, Hannover, 39 S.
BGR 128 2006-02 (A)	Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit BG-Regel Kontaminierte Bereiche