



Arbeitshilfen für die Untersuchung von Sprengplätzen

Praxisteil





Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen

Praxisteil

Impressum

Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen – Praxisteil
mit 10 separaten Anhängen

Anhang 1 Historische Hintergrundinformationen (noch in Bearbeitung)
Anhang 2.1 Erfahrungen bei der Sprengplatzbearbeitung in Deutschland
Anhang 2.2 Kenntnisstand zu Schieß- und Sprengplätzen in den USA
Anhang 2.3 Vergleich von Untersuchungsmethoden
Anhang 2.4 Gefährdungsabschätzung Streugebiete
Anhang 2.5 Methodenvergleich zur Lokalisierung von Sprengtrichtern
Anhang 2.6 Exemplarische Untersuchung von Beutemunition
Anhang 2.7 Hinweise zum Umweltverhalten Explosivstofftypischer Verbindungen
Anhang 3.1 Abkürzungsverzeichnis / Glossar
Anhang 3.2 Quellen-/Literaturverzeichnis

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (08 21) 90 71-0
Fax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

Alexander Schwendner
LGA Institut für Umweltgeologie und Altlasten GmbH
Tillystraße 2
90431 Nürnberg
Tel.: (0911) 655-5620
Fax: (0911) 655-5699
E-Mail: geo@lga.de
Internet: www.lga-geo.de

Redaktion:

LfU Referat 95 "Altlasten, schädliche Bodenveränderungen";
Dr. Martin Biersack; Dr. Gernot Huber, Dr. Markus Scheithauer, Dr. Bettina Haas

Bildnachweis:

siehe Bildnachweis auf Seite 95

Druck:

Pauli Offsetdruck e. K., Am Saaleschloßchen 6, 95145 Oberkotzau
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

September 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
1 Einführung	10
1.1 Anlass und Zielsetzung	10
1.2 Gliederung der Arbeitshilfe	10
1.3 Sprengplatztypen und Geltungsbereich der Arbeitshilfe	12
2 Grundlagenwissen Sprengplätze	14
2.1 Wichtige Begriffe	14
2.2 Historie und Technik der Munitionsvernichtung	22
2.3 Gesprengte Munition	25
2.4 Sprengstoffe der Wehrmacht	28
2.4.1 Trinitrotoluol	28
2.4.2 Hexogen	28
2.4.3 Nitropenta	28
2.4.4 Pikrinsäure	29
2.5 Pulver der Wehrmacht	29
2.6 Sprengstoffe in Beutemunition	29
3 Die Folgen der Sprengungen	30
3.1 Freisetzung von Sprengstoffrückständen	30
3.2 Freisetzung von Pulverrückständen	31
3.3 Verteilung der Rückstände	32
3.4 Freisetzung von „offenen“ Kampfmitteln im Streugebiet	35
3.5 Geschlossene Kampfmittel und Korrosionsprognosen	36
4 Umweltverhalten von Explosivstofftypischen Verbindungen	37
4.1 Sprengstofftypische Verbindungen	37
4.2 Pulvertypische Verbindungen	39
5 Vorgehen bei der Untersuchung von Sprengplätzen	40
6 Orientierende Untersuchung (OU)	43
6.1 Vorbereitung der OU	44
6.1.1 Anlegen der Karten und Pläne im GIS	44

6.1.2	Erstellen der Sprengbilanz	44
6.1.3	Lokalisieren von Sprengfeld und Hauptstreugebiet	46
6.1.4	Ergänzende geomagnetische Flächensondierungen	47
6.1.5	Probenahmeplan	48
6.1.6	Arbeitssicherheitskonzept	51
6.1.6.1	Gesetzliche Grundlagen	51
6.1.6.2	Gefährdung durch unzureichende Qualifikation	52
6.1.6.3	Gefährdung durch chemische Einwirkungen	52
6.1.6.4	Gefährdung durch physikalische Einwirkungen	52
6.1.6.5	Munitionsanalyse und Detonationsmöglichkeit	53
6.1.6.6	Festlegung des Gefahrenbereichs	57
6.1.6.7	Schutzmaßnahmen	58
6.2	Beprobung der Auswurfbereiche	61
6.3	Beprobung der Sprengtrichter	62
6.3.1	Nicht verfüllte Sprengtrichter	62
6.3.2	Rückverfüllte Sprengtrichter	62
6.4	Untersuchungsmethoden	68
6.4.1	Untersuchung der Originalsubstanz	68
6.4.2	Untersuchung von Eluaten	69
6.4.3	Empfohlener Parameterumfang	76
6.5	Erkundung von Offenen Kampfmitteln	76
6.6	Ergänzende Grundwasseruntersuchung	80
6.7	Gefährdungsabschätzung Orientierende Untersuchung	81
6.7.1	Wirkungspfad Boden–Mensch	81
6.7.2	Wirkungspfad Boden–Grundwasser (Sickerwasserprognose)	82
6.7.2.1	Auswurfbereiche	83
6.7.2.2	Sprengtrichter	83
6.7.2.3	Offene Kampfmittel	83
6.7.2.4	Grundwasseruntersuchungen	84
7	Detailuntersuchung (DU)	85
7.1	Ergänzender Untersuchungsbedarf	85

7.1.1	Auswurfbereiche	85
7.1.2	Sprengtrichter	85
7.1.3	Lose Sprengstoffbrocken	86
7.1.4	Offene Kampfmittel	87
7.1.5	Ergänzende Grundwasseruntersuchungen	87
7.2	Gefährdungsabschätzung DU – Frachtbetrachtung	87
7.2.1	Auswurfbereiche	87
7.2.2	Sprengtrichter	88
7.2.2.1	Unverfüllte Sprengtrichter	88
7.2.2.2	Verfüllte Sprengtrichter	88
7.2.3	Lose Sprengstoffbrocken	88
7.2.4	Offene Kampfmittel	89
7.2.5	Künftige Frachten	89
7.3	Transportprognose	91
7.4	Gefährdungsabschätzung Grundwasser	91
8	Erfordernis von Maßnahmen	93

Zusammenfassung

Sprengplätze – im Sinne von „**Massenvernichtungsplätzen für Munition durch Sprengen**“ – stellen mit über 100 Verdachtsstandorten einen bedeutenden Anteil an der Gesamtzahl der Rüstungsalblastenverdachtsstandorte in Bayern dar. Die Bearbeitungspriorität ist in der Regel hoch. Erste Untersuchungen ergaben sehr unterschiedliche, teils schwer nachvollziehbare Ergebnisse, die wohl auf verbesserungswürdige Erkundungskonzepte und Untersuchungsmethoden zurückzuführen sind. Die vorliegende Arbeitshilfe möchte hier Abhilfe schaffen. Sie stellt das Grundwissen, das für die Untersuchung erforderlich ist, in kompakter Form dar und vereinheitlicht die Vorgehensweise bei der Erkundung. Bei der Bearbeitung müssen stets „Sicherheitsgefahren“ und „Umweltgefahren“ aus Kampfmitteln zusammen betrachtet und bewertet werden. Dies setzt ein interdisziplinäres Wissen bei den Bearbeitern voraus. Gleichzeitig ist eine enge Zusammenarbeit mit den Stellen erforderlich, die für die Gefahren durch Detonation von Kampfmitteln zuständig bzw. fachkundig sind. Die Arbeitshilfe ist zweigeteilt: Der vorliegende **Praxisteil** stellt die Grundlage für die Bearbeitung dar. Die Anhänge enthalten historische und ergänzende technische Hintergrundinformationen, die für die Bearbeitung nützlich sind.

Grundlagen

Während nach dem 1. Weltkrieg (1.WK) die Munitionsbestände zerlegt worden sind, zeichnet sich die Zeit kurz vor Ende des 2. Weltkriegs (2.WK) und danach durch Massensprengungen aus. In Bayern sind **vier Sprengphasen** zu unterscheiden. Die Akteure waren die Wehrmacht, die US-Armee, die StEG (Staatliche Erfassungsstelle für Öffentliches Gut) und im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft und Verkehr tätige Privatfirmen. Die insgesamt gesprengte Menge dürfte bei annähernd 300.000 t gelegen haben. Darunter befanden sich auch größere Mengen an Beutemunition. Nach Beendigung der Sprengungen fanden Entmunitionierungen statt, die verglichen mit heutigen Standards als unvollständig angesehen werden müssen (Anhang 1).

Der mit Abstand wichtigste Sprengstoff der Wehrmacht war das **TNT**. Das nur in Spezialmunition eingesetzte Hexogen ist dagegen auf Sprengplätzen eher selten zu finden. Trotzdem stellt **Hexogen** im Grundwasser von Sprengplätzen oft die Hauptkontaminante dar.

Die **Folgen der Massensprengungen** waren hohe Raten an (geschlossenen) Blindgängern, aber auch an Low-Order-Detonationen. Während high-order-detonierende Munition nur relativ geringe Rückstände der Füllung hinterlässt (0,007 %), verbleiben bei Low-Order-Detonationen einerseits große, sprengstoffgefüllte Bruchstücke der Geschosshüllen und lose makroskopisch große Sprengstoffbrocken (chunks), andererseits aber auch erhebliche Mengen an mikroskopisch kleinen Sprengstoffrückständen (flakes) (Anhang 2.2). Als **Gesamtrückstandsquote** der Massendetonationen können 0,1 % der ursprünglichen Ladung angesetzt werden.

Die blind gegangenen Kampfmittel und die Geschosshüllen mit offen liegendem Sprengstoff verteilen sich vorrangig im Umkreis von 500 m im so genannten Streugebiet. **Offen liegender Sprengstoff** stellt stets eine Gefahr für das Grundwasser dar, dies haben entsprechende Elutionsversuche ergeben. Die Fracht ist abhängig von der Menge der heute noch vorhandenen Kampfmittel (Blindgänger) bzw. ihrem Zustand. Zur Gefährdungsabschätzung sind im Regelfall **Testfeldsondierungen** mit entsprechender Kategorisierung der Fundmunition erforderlich (Anhang 2.4).

Die üblichen Mengen an **losen Sprengstoffbrocken**, die sowohl in rückverfüllten Trichtern als auch im Auswurfbereich vorkommen können, sind nicht bekannt. Zudem fehlt ein Verfahren, wie dies festgestellt werden kann. Die Beurteilung möglicher Gefahren muss daher auf plausiblen Annahmen und Hochrechnungen beruhen.

Die **Korrosionsraten** von (noch geschlossenen) Kampfmitteln hängen von verschiedenen Faktoren ab und liegen wahrscheinlich unter 0,1 mm pro Jahr. Während dickwandigere Artilleriegranaten unter diesen Voraussetzungen noch intakt sein dürften, können dünnwandige Wurf- bzw. Minengranaten oder Hohlladungsmunition bereits so stark korrodiert sein, dass der Sprengstoff „offen liegt“. Mittel- bis langfristig ist wahrscheinlich mit einem zusätzlichen und mit der Zeit langsam ansteigenden Frachtbeitrag durch korrodierende Munition zu rechnen.

Die **Sprengstoffrückstände** verteilen sich **heterogen** mit dem **Auswurf** im Umfeld der Trichter. Als maximale Erstreckung kann im Regelfall der Trichterdurchmesser (bzw. 20 m) angesetzt werden. Auf den meisten Sprengplätzen wurden die Trichter rückverfüllt. Meist verwendete man den Auswurf bzw. die Wälle als Rückverfüllmaterial, sodass es zu einer Aufkonzentrierung der Schadstoffe im Trichter gekommen ist. In vielen Fällen sind Reste des Auswurfs im Auswurfbereich verblieben, sodass bei der Erkundung stets Trichter und Auswurf zu betrachten sind.

Vorgehensweise

Bei Sprengplätzen liegt auf Grund der damaligen Verfahrensweise der Massensprengungen generell ein Anhaltspunkt für eine schädliche Bodenveränderung vor. Bei der Untersuchung eines Sprengplatzes sind **immer** folgende Verdachtsbereiche zu überprüfen:

- Sprengtrichter (rückverfüllt und/oder offen)
- Auswurfbereiche
- Streugebiet mit offenen Kampfmitteln.

Zusätzlich ist das mögliche Vorliegen von

- losen Sprengstoffbrocken

in den Auswurfbereichen und in den Sprengtrichtern bei den Untersuchungen abzuklären und in der Bewertung zu berücksichtigen.

Orientierende Untersuchung (OU)

Die Durchführung einer Orientierenden Untersuchung muss bei Sprengplätzen **umfangreicher** angelegt werden als bei konventionellen Altlasten üblich. Grund dafür ist die extrem heterogene Schadstoffverteilung auf Sprengplätzen.

Durch ein schrittweises Vorgehen kann der Umfang der OU auf das primäre Ziel beschränkt werden, den Altlastverdacht auszuräumen oder hinreichend zu bestätigen. Sobald sich für einen der Verdachtsbereiche der Verdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung hinreichend bestätigt hat, ist die OU beendet. Die bis dahin noch nicht durchgeführten Überprüfungen verbliebener Verdachtsbereiche sind im Rahmen der Detailuntersuchung abzuarbeiten.

Die Entlassung eines Sprengplatzes aus dem Altlastverdacht ist jedoch erst möglich, wenn alle Verdachtsbereiche vollständig überprüft sind und für den Ort der Beurteilung keine Überschreitung eines Prüfwertes prognostiziert wird bzw. für das Grundwasser der Nachweis erbracht ist, dass keine erhebliche Verunreinigung vorliegt.

Da die OU für Sprengplätze nur auf der Basis hinreichend genauer historischer Auswertungen stattfinden kann, sind zur Vorbereitung der OU folgende grundlegenden Arbeitsschritte erforderlich:

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

Bei der anschließenden Beprobung von Trichtern und Auswurfbereichen sind für die Materialuntersuchungen ausreichend große Rohprobenmengen (5 – 20 kg) zu entnehmen, um den Einfluss der heterogenen Schadstoffverteilung auf die zu untersuchenden Proben zu minimieren.

Untersuchungsmethoden

Im Rahmen der modellhaften Erkundung von zwei Standorten wurden verschiedene Untersuchungsmethoden auf ihre Praxistauglichkeit und Aussagekraft untersucht (Anhang 2.3). Die Elutionsverfahren erzielten hierbei teilweise sehr unterschiedliche Konzentrationsniveaus. Eindeutige Zusammenhänge waren nicht durchgängig zu erkennen. Dies liegt an der Heterogenität des Probenmaterials, die sich trotz sorgfältiger Homogenisierung nicht vollständig eliminieren ließ, aber auch an verfahrensbedingten Einflüssen bei der Elution. Der jeweilige Einfluss konnte unter den gegebenen Versuchsanordnungen nur auf der Basis theoretischer Überlegungen abgeschätzt werden. Im Ergebnis ist festzustellen: 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-Eluat 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 Probenahme 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 Wannenueluate** durchzuführen, da sie durch ihr engeres Mischungsverhältnis den natürlichen Verhältnissen

deutlich näher kommen und aufgrund der großen Probenmenge weniger anfällig gegenüber der heterogenen Schadstoffverteilung sind.

Gefährdungsabschätzung OU

Der **Wirkungspfad Boden–Mensch** wird nur im oberflächennahen Bereich der Trichter und der Auswurfbereiche tangiert. Die hier üblicherweise zu erwartenden Konzentrationen an Sprengstofftypischen Verbindungen unterschreiten die Prüfwertvorschläge bzw. die „Behelfsmäßigen Bodenorientierungswerte“ in der Regel sehr deutlich. Eine Gefährdung auf diesem Pfad wird in den meisten Fällen auszuschließen sein.

Bewertungsgrundlage für den Wirkungspfad **Boden–Grundwasser** sind die Geringfügigkeitsschwellen (GFS) der LAWA, die als Beurteilungsgrundlage für das Sickerwasser am Ort der Probenahme und am Ort der Beurteilung sowie für das Grundwasser selbst herangezogen werden können.

Der Altlastverdacht ist als bestätigt anzusehen, wenn aufgrund der Konzentrationen im Eluat für einen Schadstoffparameter eine Überschreitung der Geringfügigkeitsschwelle am Ort der Beurteilung prognostiziert wird. Führt die Sickerwasserprognose für offene Kampfmittel im Streugebiet zu einer Überschreitung der Geringfügigkeitsschwelle am Ort der Beurteilung, so ist der Verdacht ebenfalls hinreichend bestätigt.

Konnte dagegen der Altlastverdacht durch Bodenuntersuchungen bzw. durch die Sickerwasserprognose für offene Kampfmittel nicht bestätigt werden, wird vor der endgültigen Entlassung des Sprengplatzes aus dem Altlastenverdacht - in Abhängigkeit der hydrogeologischen Verhältnisse - der Bau einer Grundwassermessstelle und die mehrmalige Untersuchung des Grundwassers über einen längeren Zeitraum (mindestens zwölf Monate) empfohlen.

Detailuntersuchung (DU)

In der Detailuntersuchung ist abzuklären, ob von der im Rahmen der OU nachgewiesenen Altlast oder schädlichen Bodenveränderung oder der ggf. bereits festgestellten Grundwasserverunreinigung eine Gefahr ausgeht, die Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erfordert. Hierfür ist eine Sickerwasserprognose mit Frachtbetrachtung unerlässlich. Diese umfasst bei Sprengplätzen:

- die Fracht aus den **Auswurfbereichen** (bzw. Resten der ehemaligen Auswurfmassen), die sich um die Sprengtrichter erstrecken,
- die Fracht aus den **Sprengtrichtern**, die im Regelfall mit Auswurf rückverfüllt worden sind und daher die **Kontaminationsschwerpunkte** bilden,
- die Fracht von **losen Sprengstoffbrocken** im Trichterrückfüllmaterial und im Auswurfbereich
- die Fracht aus low-order-detonierten oder durch die früheren Sprengungen mechanisch zerbrochenen **Kampfmitteln mit offenen Sprengstoffflächen** im Hauptstreugebiet, möglicherweise auch in Trichtern.

Der Untersuchungsumfang der DU muss in jedem Fall die Überprüfung verbliebener Verdachtsmomente aus der OU vollständig abdecken. Die Austragsmengen werden an Hand der jeweiligen Flächengrößen, den ermittelten Eluatkonzentrationen und der jährlichen Grundwasserneubildungsrate berechnet.

1 Einführung

1.1 Anlass und Zielsetzung

Im Anschluss an eine erste bundesweite Erhebung der Rüstungsaltpasten durch das Umweltbundesamt im Jahr 1993 erfolgte im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen von 1994 bis 2001 eine ausführliche Datenerhebung zu den bayerischen Standorten und eine Einordnung der Standorte in Bearbeitungsprioritäten. Dabei stellte der Standorttyp „Sprengplatz“ mit über 100 Verdachtsstandorten einen bedeutenden Anteil an der Gesamtanzahl dar. Die Bearbeitungspriorität der Sprengplätze ist in der Regel hoch.

In der Zwischenzeit wurden an ausgewählten Sprengplätzen Orientierende Untersuchungen durchgeführt. Hierbei ergaben sich sehr unterschiedliche, teils schwer interpretierbare Ergebnisse.

Die vorliegende Arbeitshilfe soll die Besonderheiten dieses Standorttyps aufzeigen und das Grundwissen für die erforderlichen Untersuchungen in kompakter Form darstellen. Gleichzeitig soll damit die Vorgehensweise bei der Erkundung optimiert und soweit möglich vereinheitlicht werden. Dies soll ermöglichen, belastbarere Ergebnisse zu generieren, um ein hohes Maß an Sicherheit bei der Gefährdungsabschätzung zu gewährleisten. Da sich Sprengplätze z. T. deutlich voneinander unterscheiden können, müssen stets die historischen und örtlichen Besonderheiten bei der Vorgehensweise berücksichtigt werden. In begründeten Fällen kann daher von den hier formulierten Vorgaben abgewichen werden.

Die „Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen“ stellt eine Ergänzung den bereits veröffentlichten LfU-/LfW-Merkblätter dar. Sofern sich Abweichungen in der prinzipiellen Vorgehensweise ergeben, wird darauf verwiesen.

Aussagen zum Pfad Boden–Pflanze sind in dieser Arbeitshilfe nicht enthalten.

Bei der Bearbeitung eines Sprengplatzes müssen die Aspekte „Sicherheitsgefahren“ und „Umweltgefahren“ aus Kampfmitteln stets zusammen betrachtet und bewertet werden. Dies setzt erfahrene und fachkundige Bearbeiter sowie eine enge Zusammenarbeit mit den entsprechenden Stellen (Kampfmittelräumfirmen, Kampfmittelbeseitigungsdienste) und ggf. dem für Kampfmittel und Fundmunition zuständigen Bayerischen Staatsministerium des Innern (StMI) voraus.

1.2 Gliederung der Arbeitshilfe

Die vorliegende „Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen“ enthält im vorliegenden **Praxisteil** alle für die Bearbeitung erforderlichen Informationen. Als roter Faden dient die Chronologie, wie sie üblicherweise bei der Bearbeitung eines Sprengplatzes auftritt. Um den Praxisteil handhabbar zu halten, wurde bewusst auf Detailinformationen verzichtet. Vertiefte Detailinformationen zu den jeweiligen Unterkapiteln der Arbeitshilfe sind in den nachfolgend vorgestellten Anhängen zu finden.

Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen

Praxisteil

- Grundlegende Informationen
- Historie der Munitionsvernichtung
- Rückstände und relevante Parameter
- Umweltverhalten / Freisetzung von Sprengstoffen
- Vorgehensweise bei der Erkundung
- Vorarbeiten / Dokumentation
- Hinweise zu Feldarbeiten
- Untersuchungsmethoden
- Sickerwasserprognose und Gefährdungsabschätzung

Anhänge

- 1) Historische Hintergrundinformationen
 - 2.1) Erfahrungen bei der Sprengplatzbearbeitung in Deutschland
 - 2.2) Kenntnisstand zu Schieß- und Sprengplätzen in den USA
 - 2.3) Vergleich von Untersuchungsmethoden
 - 2.4) Gefährdungsabschätzung Streugebiete
 - 2.5) Methodenvergleich zur Lokalisierung von Sprengtrichtern
 - 2.6) Exemplarische Untersuchung von Beutemunition
 - 2.7) Hinweise zum Umweltverhalten Explosivstofftypischer Verbindungen
- 3.1) Abkürzungsverzeichnis / Glossar
- 3.2) Quellen- / Literaturverzeichnis

Abb. 1: Inhalte des Praxisteils der Arbeitshilfe und der Anhänge

Der **Anhang 1 „Historische Hintergrundinformationen“** beleuchtet die Munitionsvernichtung in einem erweiterten rüstungsgeschichtlichen Zusammenhang und stellt speziell die Vorgänge in Bayern dar.

Anhang 2 enthält in insgesamt sieben separaten Anhängen im Wesentlichen fachliche Hintergrundinformationen.

Anhang 2.1 „Erfahrungen bei der Sprengplatzbearbeitung in Deutschland“ fasst die bisher in Deutschland vorliegenden Erfahrungen bzw. Kenntnisse zusammen, die bei Erkundungen und Entmunitionierungen von Sprengplätzen gesammelt wurden. Hierzu wurden zum Einen die Kampfmiteldienste der Länder befragt, zum Anderen „Sprengplatzgutachten“ zu 30 Standorten ausgewertet.

In den USA wurden in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen von Rückständen beim Verschluss und bei der Vernichtung von Munition durchgeführt. Der **Anhang 2.2 „Kenntnisstand zu**

Schieß- und Sprengplätzen in den USA“ gibt einen Überblick über den derzeitigen Wissensstand in den USA. Viele der Erkenntnisse sind auf die Problematik der Nachkriegssprengplätze übertragbar und tragen dazu bei, die Ursachen und die Verteilung der Belastungen besser zu verstehen.

Im **Anhang 2.3 „Vergleich von Untersuchungsmethoden“** wurde untersucht, welchen Einfluss verschiedene Untersuchungsmethoden auf die erzielten Analyseergebnisse haben können und welche Probenahme- und Analyseverfahren am besten den speziellen Anforderungen auf Sprengplätzen gerecht werden.

Anhang 2.4 „Gefährdungsabschätzung für Streugebiete“ befasst sich mit der Fragestellung, inwieweit aufgebrochene Kampfmittel und lose Sprengstoffbrocken auf Sprengplätzen eine Gefahr für das Grundwasser bedeuten und ob dieser Aspekt in der Sickerwasserprognose zu berücksichtigen ist.

Anhang 2.5 „Methodenvergleich zur Lokalisierung von Sprengtrichtern“ beschreibt verschiedene Methoden, die beim Fehlen aussagekräftiger Luftbilder angewendet werden können.

Im **Anhang 2.6 „Exemplarische Untersuchung von Beutemunition“** wurde exemplarisch untersucht, inwieweit von der Wehrmacht erbeutete Munition vergleichbare Sprengstofffüllungen enthält oder ob Modifizierungen des bisherigen Parameterumfangs erforderlich sind.

Anhang 2.7 „Hinweise zum Umweltverhalten Explosivstofftypischer Verbindungen“ fasst wichtige Informationen zusammen, die im Rahmen der Sickerwasser- und Transportprognosen zu berücksichtigen sind.

Die wichtigsten Informationen der vorgenannten Anhänge und die jeweiligen Schlussfolgerungen wurden in den vorliegenden Praxisteil integriert. Quellenangaben sind im Text in **[eckigen Klammern]** und Fettdruck dargestellt.

Das Abkürzungsverzeichnis sowie das Quellen-/Literaturverzeichnis sind in den **Anhängen 3.1 und 3.2** zusammengestellt.

1.3 Sprengplatztypen und Geltungsbereich der Arbeitshilfe

Mit dem Begriff „Sprengplatz“ werden unterschiedliche Nutzungsszenarien bzw. Nutzungstypen bezeichnet:

- „Sprengplatz“ im Sinne eines Versuchs-, Test- oder Schießplatzes, wie er in der Regel Explosivstoffproduzierenden Betrieben zur Prüfung der hergestellten Produkte durch „Sprengproben“ angegliedert war.
- „Sprengplatz“ im Sinne eines Vernichtungsplatzes von Explosivstoffen und Abfällen aus der Explosivstoffproduktion oder auch von aufgesägter Munition, vorrangig durch Verbrennen. Derartige Plätze gab es nach beiden Weltkriegen.
- „Sprengplatz“ im Sinne eines Ausbildungsplatzes für Pioniere oder zu Demonstrationszwecken von Sprengwirkungen. Derartige Einrichtungen befinden sich im Regelfall auf Truppenübungsplätzen.
- „Sprengplatz“ zur (gelegentlichen) Vernichtung blindgegangener (transportfähiger) oder überlagerter Munition, im Umfeld von Munitionslagereinrichtungen (Artilleriedepots, Munitionsanstalten) oder auf Truppenübungsplätzen. Sprenggruben sind bautechnisch speziell präparierte Vertiefungen zur Einzelsprengung von Munition.
- **„Sprengplatz“ zur sprengtechnischen (Massen-)Vernichtung großer Mengen von Munition, insbesondere im Zuge der Demilitarisierungsmaßnahmen nach dem 2. Weltkrieg.**

Die Arbeitshilfe ist konzipiert für den Sprengplatztyp „Massenvernichtungsplatz für Munition durch Sprengen“. Viele der in dieser Arbeitshilfe enthaltenen Informationen können jedoch auch bei der Untersuchung artverwandter Sprengszenarien sowie bei der Untersuchung von Schießbahnen hilfreich sein.

2 Grundlagenwissen Sprengplätze

2.1 Wichtige Begriffe

Die Bearbeitung von Sprengplätzen im Rahmen der Altlastenbearbeitung setzt die Kenntnis und den richtigen Gebrauch einiger Fachbegriffe voraus.

Massenvernichtungsplätze sind durch **Reihensprengungen** bzw. Vielnutzung der **Sprengstellen** gekennzeichnet. Explosionsstellen sind dagegen durch eine Einzel-Detonation charakterisiert. Eine Explosionsstelle kann als Sprengstelle bzw. Sprengplatz nachgenutzt worden sein. Im einfachsten Fall besteht ein Sprengplatz aus einem (mehrfach genutzten) **Sprengtrichter** und dem umgebenden **Auswurfbereich** sowie dem daran angrenzenden **Streugebiet** (vgl. Abb. 2).

Sprengtrichter

Ein Sprengtrichter entsteht durch wiederholte Nutzung einer Sprengstelle, wobei sich eine Geländevertiefung ausbildet. Dies war bei den Munitionssprengungen von Vorteil, da die nachfolgend gesprengten Munitionsstapel mit dem weiteren Fortschritt der Vernichtungen tiefer als die umgebende Geländeoberfläche eingebaut werden konnten. Hierdurch reduzierten sich die Flugweite der Splitter und dadurch auch die Schäden im Umfeld.

Die Ausmaße eines Sprengplatzes und der Sprengtrichter hängen von der umgesetzten Nettoexplosivstoffmenge, seiner Nutzungsdauer bzw. der für die Sprengungen zur Verfügung stehenden Zeit und dem Untergrund ab. Kleine Sprengplätze haben oft nur einen oder wenige Trichter. Bei großen Sprengplätzen können auch weit über 100 Trichter vorhanden sein. Bei der Vernichtung großer Munitionsmengen innerhalb kurzer Zeit wurden viele Sprengstellen angelegt und gleichzeitig betrieben.

Der Durchmesser „typischer“ Sprengtrichter liegt zwischen 10 und 25 m bei einer Tiefe von 2 bis 5 m. Größere Sprengtrichter gehen häufig auf gesprengte Munitionsbunker oder auf die Vernichtung sehr großkalibriger Munition zurück.

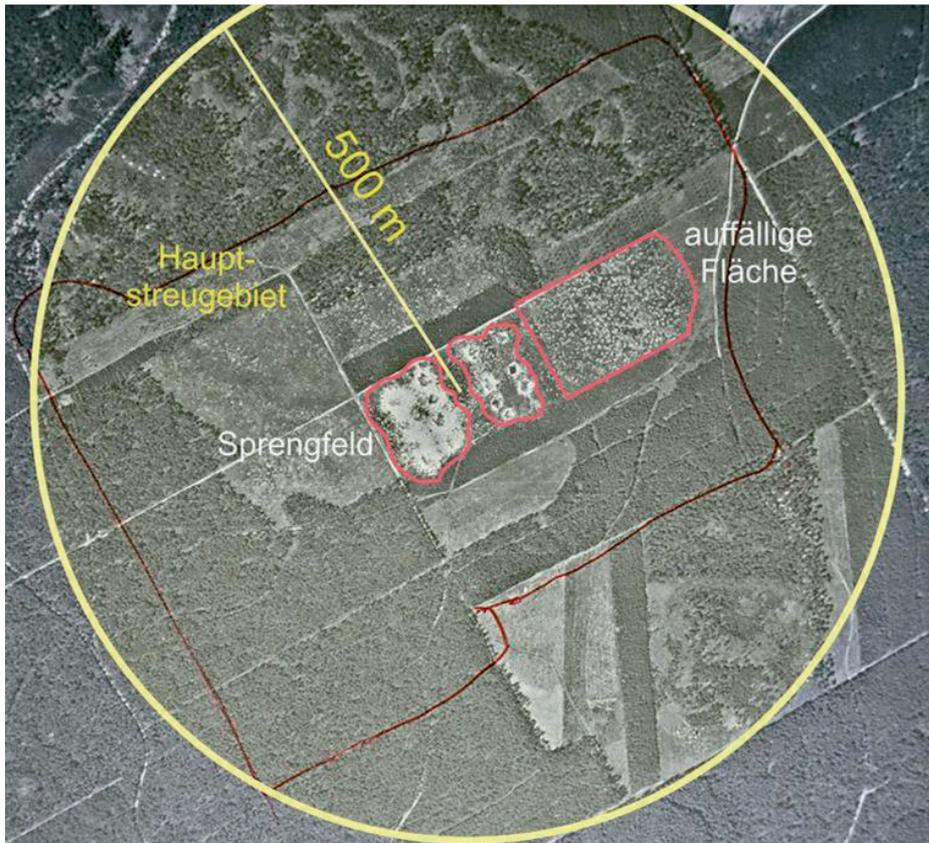


Abb. 2:
Sprengfeld mit zwei Sprengbereichen zu je acht Sprengtrichtern. Der Auswurfbereich ist im westlichen Sprengbereich deutlich an den hellen Reflexionen zu erkennen. Der Ursprung der östlichen, auffälligen Teilfläche ist unbekannt. Das Streugebiet wurde mit 500 m festgesetzt. Durch LGA bearbeitete Luftaufnahme; Sprengplatz Raffa, 1952.



Abb. 3:
Sprengtrichter auf dem Sprengplatz Aying. Die Ausmaße des Trichters verdeutlichen die Mengen an Auswurf, die im Umfeld verteilt worden sind. Im Vordergrund sind vorrangig 10,5 cm Granaten ohne Zünder zu erkennen. Aufnahme um 1949.

Trichtertiefe

Die in den Archivalien angegebenen „Trichtertiefen“ sind stets zu prüfen, ob sich die Angabe auf einen verfüllten oder einen unverfüllten Trichter bezieht. Generell bezeichnet die „**Trichtertiefe**“ die Höhendifferenz zwischen Trichterbasis und Geländeoberkante **des Umfelds**. Der „Trichtergrund“ ist

im Regelfall die Grenze zwischen rückverfülltem Material und natürlichem Untergrund. Teilweise wird in Entmunitionierungsberichten fälschlicherweise auch die maximale Fundtiefe von Munition als „Trichtertiefe“ angegeben.

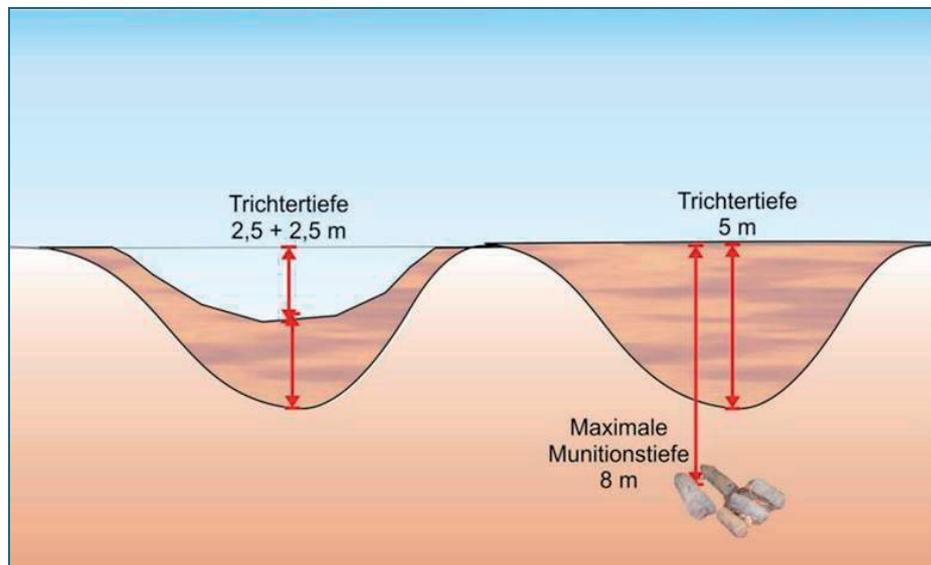


Abb. 4:
Vergleich von
Trichtertiefen und
maximalen
Munitionstiefen

Sprengplatzkategorien

Sprengplätze können sehr unterschiedlich groß sein. Dies deutet auf unterschiedliche Sprengumsätze und damit auch auf ein unterschiedliches Gefährdungspotenzial hin. Das Emissionspotenzial eines Platzes und damit indirekt auch sein primäres Gefährdungspotenzial hängen in erster Linie von der Menge der gesprengten Munition bzw. ihres Netto-Explosivstoffgewichts ab. Je größer die vernichteten Mengen waren, desto größer sind im Regelfall die Anzahl der vorhandenen Trichter und deren Ausmaß. Im Rahmen der Arbeitshilfe wurden zur Klassifizierung vier **Kategorien** aufgestellt. Damit sollen die Sprengplätze hinsichtlich ihres prinzipiellen Gefährdungspotenzials vergleichbar werden und die Untersuchungsergebnisse besser auf Plausibilität geprüft werden können. Es wurden folgende Sprengplatzkategorien festgelegt:

- Kategorie S – gesprengte Menge bis 800 t
- Kategorie M – gesprengte Menge bis 2.000 t
- Kategorie L – gesprengte Menge bis 8.000 t
- Kategorie XL – gesprengte Menge über 8.000 t.

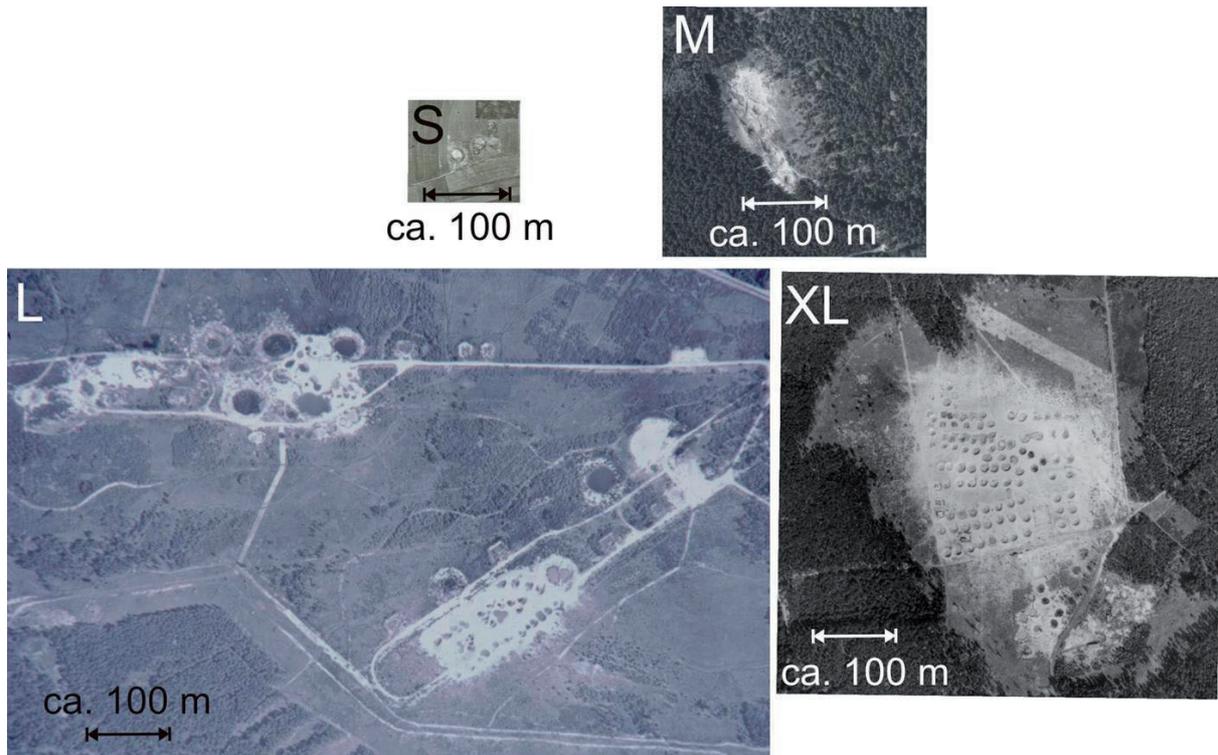


Abb. 5: Sprengplatzkategorien, in etwa maßstabsgerecht dargestellt. S = Ehemaliger US-Sprengplatz Kallmünz; M = Teilbereich des StEG-Sprengplatzes Schwaighausen; L = Sprengplätze der E-Stelle Feucht; XL = Sprengplatz der E-Stelle Hainsacker; alle Aufnahmen um 1950/1951.

Auswurfbereich

Bei der Detonation wird das Erdreich, das die Munition unterlagert bzw. umgibt, mit der Druckwelle fort geschleudert. Dieses Material wird als **Auswurf** bezeichnet. Bei Sprengplätzen auf tonig-schluffigem Untergrund weist das Auswurfmaterial meist ein typisches „breckziöses“ Aussehen auf und ist daran relativ leicht zu erkennen. Bei Sprengplätzen auf sandigem Untergrund sind diese bodentypischen Merkmale meist nicht vorhanden.

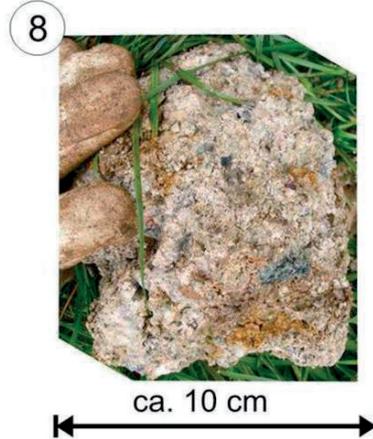
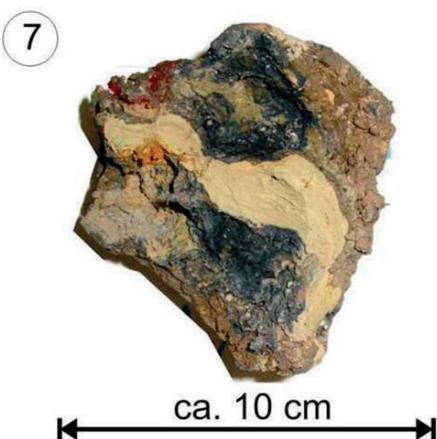
Die Flugweite des Auswurfs hängt von der Detonationsstärke (der umgesetzten Nettoexplosivstoffmenge) und der Trichtertiefe ab. In erster Näherung kann der Trichterdurchmesser, im Regelfall eine Zone mit Radius 20 m **ab Trichterrand** als Auswurfbereich angenommen werden, bei großen Trichtern ggf. mehr.

Nach mehrfachen Sprengungen entstehen um die Trichterränder flache Wälle aus Auswurfmaterial, deren Mächtigkeit am Trichterrand mehr als 1 m betragen kann. Die Mächtigkeit der Auswurflage nimmt mit zunehmender Entfernung vom Trichterrand ab. Ab einer bestimmten Trichtertiefe fällt bei der Sprengung der größte Teil des Auswurfs wieder in den Trichter zurück.



ca. 30 cm

ca. 30 cm



ca. 10 cm

ca. 10 cm

Abb. 6: Erscheinungsformen von in Sprengtrichtern rückverfülltem Auswurf. Bild 1 und 2: Sprengung auf bindigem Untergrund. Der Auswurf weist ein typisch breckziöses bzw. „klumpiges“ Erscheinungsbild auf. Bild 3: Sprengung auf sandigem Untergrund. Es fehlen typische Merkmale. Bilder 4 bis 7: breckziöser Auswurf im Detail. Bild 8: Material von der kiesigen Basis eines Trichters. Die einzelnen Kieskomponenten wurden durch die Detonationen mürbe, sodass sie mit der Hand zerreibbar sind.



Abb. 7:
Sprengtrichter,
Auswurfwall und hell
reflektierendes
Auswurfmaterial. Der
Wald im Umfeld ist
bereits zerstört.
Sprengplatz in der
Britischen Zone;
Aufnahmedatum um
1945.

Bei kleineren Trichtern kann die Auswurfkubatur 150 bis 200 m³ betragen, bei größeren Trichtern durchaus 1.000 bis 2.000 m³ (vgl. Abb. 8).



Abb. 8:
Sprengung einer
Granate Kaliber
66 cm am Standort
Kleinkötz.
Die Sprengung erfolgte
in einer hierfür
ausgehobenen ca. 2 m
tiefen Grube. Die
Auswurfmenge ist
überdurchschnittlich
groß, da die
Sprengung verdammt
erfolgte, d. h. die
Grube wurde verfüllt
und zusätzlich mit etwa
2 m Erdreich bedeckt.
Aufnahmedatum um
1949.

Streugebiet

Das Streugebiet ist der Bereich, in dem die nicht umgesetzte Munition einer Massendetonation durch die Druckwelle verteilt werden kann. Die im Streugebiet niedergehende Munition wird als **Streumunition** bezeichnet. Die Flugweite der Munition hängt ab

- vom Nettoexplosivstoffgewicht der pro Schlag umgesetzten Munitionsmenge und der Größe der zur Initiierung verwendeten Schlagladung,
- vom Kaliber der gesprengten Munition,
- von der (Tiefen-)Lage der gesprengten Munition im Sprengtrichter gegenüber der Geländeoberfläche,
- von der Geländemorphologie,

- vom umgebenden Bewuchs der Sprengstelle und
- von der Verdämmung. In der Regel wurde auf „Massenvernichtungsplätzen für Munition durch Sprengen“ nicht verdämmt.

Die Flugweite von Splintern oder Streumunition nimmt mit ihrem Gewicht zu, d. h. kleine Splitter und Munition mit kleinen Kalibern gingen vor allem im Nahbereich bis rund 250 m nieder. Schwere Artilleriegranaten können auch mehrere hundert Meter weit weg geschleudert worden sein. Der wesentliche Teil der Streumunition ist jedoch in einem Umkreis von 500 m um die Sprengstelle anzutreffen. In der Regel ist ein **maximales Streugebiet** mit Radius 1.000 m um die Sprengstelle und ein **Haupt-Streugebiet** mit Radius 500 m um die Sprengstellen anzusetzen. Je nach Geländemorphologie bzw. der Größe der gesprengten Munition können diese Zonen in Größe und Form variieren. Im Streugebiet liegt die Eindringtiefe der Streumunition in der Regel bei maximal 0,3 m. Fundtiefen bis 1 m sind eher selten.

Sprengfeld

Mehrere nahe beieinander liegende Sprengtrichter einschließlich ihrer Auswurfbereiche bilden ein **Sprengfeld**. Die Auswurfbereiche können sich je nach Anordnung der Trichter überlappen. Sprengplätze mit mehreren dezentral bzw. weit verstreut liegenden Trichtern bilden kein Sprengfeld. Allerdings können sich in solchen Fällen die Streugebiete der einzelnen Sprengtrichter überlagern.

Der in den Unterlagen historischer Erkundungen [190] verwendete Begriff „**Größe des Sprengplatzes**“ ist bisher nicht näher definiert. In den Standortunterlagen wurde teilweise die Größe des nach Beendigung der Sprengungen entmunitionierten Bereichs als „Größe des Sprengplatzes“ angegeben. Dies erscheint nicht sinnvoll, da der Umfang der damaligen Räumaktionen von verschiedenen Parametern abhängig war und nicht der Größe des Streugebiets entspricht. Außerdem umfassten die in den 50er Jahren geräumten Bereiche meist nur einen Teil des Hauptstreugebiets.



Abb. 9:
In Räumung
befindlicher Trichter;
ehem. LMA Kleinkötz ;
Aufnahmedatum um
2000.

Korrekterweise entspricht aus kontaminationstechnischer Sicht die „Größe“ eines Sprengplatzes der Ausdehnung seines Sprengfeldes bzw. – bei Sprengplätzen ohne Sprengfeld – der Summe aus den einzelnen Trichterflächen und den umgebenden Auswurfbereichen. Aus munitionstechnischer Sicht entspricht die Fläche des Sprengfeldes und des Hauptstreugebiets der „Größe des Sprengplatzes“. Der potentiell munitionsbelastete Bereich ist im Regelfall rund 80 ha groß, während der „chemisch“ kontaminierte Bereich üblicherweise nur wenige Hektar umfasst.

Munition und Munitionsteile

Der Begriff „Munition“ wird je nach Sichtweise unterschiedlich definiert. Der vorliegenden Arbeitshilfe

liegt eine Definition in Anlehnung an [432] zu Grunde:

Der potenziell mit Streumunition belastete Bereich eines Sprengplatzes ist ca. 20 x größer als der potenziell mit STV verunreinigte Bereich.

Munition/Munitionsteile sind Gegenstände oder deren Teile mit einer bestimmungsgemäßen militärischen Anwendung, die Explosivstoffe, Nebelstoffe oder chemische (oder biologische) Kampfstoffe enthalten. Munition umfasst daher vor allem Granaten, Minen oder Bomben, sowie deren Zündeinrichtungen, ggf. deren Treibladungen (Patronen) sowie deren pyrotechnische Bestandteile.

Explosivstoffe

Explosivstoffe sind metastabile Substanzen oder Stoffgemische, die sich durch Wärme, Schlag, Stoß, Reibung etc. ohne Hinzutritt weiterer Reaktionspartner (z. B. Luftsauerstoff) zur Explosion bringen lassen. Diese schlagartige chemische Umsetzung ist an eine Stoßwelle mit hohen Temperaturen gekoppelt. Liegt ihre Geschwindigkeit über 1.500 m/s spricht man von einer Detonation, darunter von einer Deflagration. Deflagrieren Sprengstoffe, statt zu detonieren, so spricht man auch von einer „Low-Order-Umsetzung“.

Zu den Explosivstoffen zählen im klassischen Sinn Initialsprengstoffe (Primärsprengstoffe), brisante Sprengstoffe (Sekundärsprengstoffe) und Treibmittel (Treibladungspulver). In der Literatur werden teilweise auch Zündstoffe, Anzündstoffe und pyrotechnische Stoffe zu den Explosivstoffen gerechnet.

Primärsprengstoffe sind hochempfindlich und explodieren bereits bei schwachen mechanischen Stößen sowie bei Funken- und Flammenentzündung. Sie dienen zum Zünden bzw. Anzünden von Spreng- und Pulverladungen. Sekundärsprengstoffe sind handhabungssicher und müssen durch Initialsprengstoffe zur Umsetzung gebracht werden. Häufig sind Sekundärsprengstoffe nicht detonationsempfindlich genug, um allein durch einen Primärsprengstoff initiiert werden zu können. In diesem Fall finden Aufladungen bzw. Übertragungsladungen Verwendung, sodass eine Zündkette entsteht. Im erweiterten Sinn werden auch pyrotechnische Stoffe zu den Explosivstoffen gerechnet.

Treibmittel (auch Treibstoffe genannt) deflagrieren im Normalfall. Die hierbei entstehenden Gase sollen Geschoss oder Projektil von der Waffe zum Ziel bringen [448]. Vorsicht ist bei der Auswertung von Quellen des 1. Weltkriegs geboten, da der Begriff „Pulver“ (oder „Sprengpulver“) zu jener Zeit oft synonym zu Sprengstoff verwendet wurde; TNT wurde z. B. als „Füllpulver“ bezeichnet. In den „Pulvermagazinen“ der Artilleriedepots befand sich meist kein Pulver im heutigen Sinn (Treibmittel) sondern Sprengstoffe wie TNT oder Pikrinsäure (Grf. 88).

Sprengmittel sind alle Stoffe, Gegenstände und Geräte, die zur Ausführung einer Sprengung benötigt werden; sie sind nicht mit „Sprengstoffen“ gleichzusetzen.

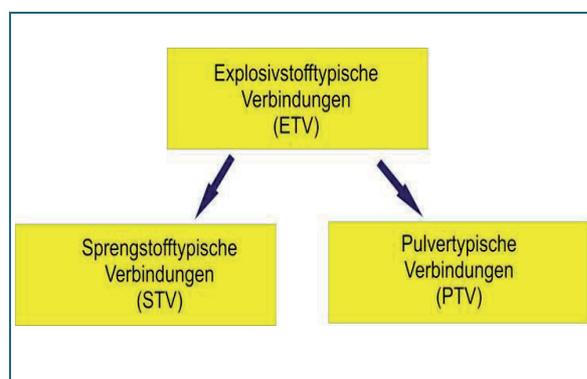


Abb. 10: Explosivstofftypische Verbindungen umfassen im Bereich der Rüstungsalternativen Sprengstofftypische und Pulvertypische Verbindungen (im Gegensatz zur klassischen Definition jedoch keine Initialsprengstoffe oder Pyrotechnika).

Der US-amerikanische Begriff „explosives“ meint dagegen nicht Explosivstoffe sondern Sprengstoffe. Treibmittel werden im amerikanischen als „propellants“ bezeichnet. Die Bezeichnungen „energetic compounds“ oder „energetic munition constituents“ entsprechen dem deutschen Begriff „Explosivstoffe“.

Kampfmittel

Kampfmittel sind „gewahrsamlos gewordene“, zur Kriegsführung bestimmte Stoffe und Gegenstände militärischer Herkunft und Teile solcher Gegenstände, die Explosivstoffe oder chemische Kampf-, Nebel-, Brand-, Reiz- oder Rauchstoffe enthalten [432]. Hierzu zählen auch Kriegswaffen oder deren wesentliche Bestandteile. Diese Unterteilung in Munition und Kampfmittel wird in der vorliegenden Arbeitshilfe, soweit möglich, berücksichtigt. Der Begriff „Kampfmittel“ ist nicht mit „Kampfstoffen“ zu verwechseln.

Kampfstoffe

Kampfstoffe sind chemische Verbindungen, die auf Grund ihrer den Menschen schädigenden oder reizenden Stoffeigenschaften für die Kriegsführung in Kampfstoffmunition laboriert worden sind. Kampfstoffmunition spielt auf Sprengplätzen des 2. Weltkriegs nur in Ausnahmefällen eine Rolle.

Blindgänger

Ein „Blindgänger“ liegt vor, wenn Munition verschossen oder abgeworfen wurde, und nicht umgesetzt hat. Im Rahmen dieser Arbeitshilfe wird jedoch auch die Munition, die einer Sprengung ausgesetzt war und dabei nicht initiiert worden ist, als „Blindgänger“ bezeichnet.

2.2 Historie und Technik der Munitionsvernichtung

Die größten Mengen an Munition wurden unmittelbar nach den beiden Weltkriegen (Nachkriegszeit) vernichtet. Die Vorgehensweisen der oft als NK1 und NK2 abgekürzten Epochen, unterscheiden sich erheblich voneinander:

Nach dem Ende des 1. Weltkriegs wurden keine Massensprengungen von Munition durchgeführt. Die Munition wurde bei Kriegsende von den Fronten in die Technischen Institute zurückgebracht. Dort wurde sie bis 1923 von den Reichswerken zerlegt. Teilweise wurden auch Privatfirmen (ehemalige Füll- und Presswerke) einbezogen. Zu Sprengungen kam es nur, wenn sich die Munition nicht zerlegen ließ oder es für einen bestimmten Typ keine Zerlegevorschrift gab. Der wesentliche Teil der wieder gewonnenen Explosivstoffe (Sprengstoffe und Treibmittel) wurde auf Großbrandplätzen verbrannt, da es an Absatzmöglichkeiten in der Wirtschaft fehlte.

Die vor dem Ende des 2. Weltkriegs gelagerten Munitionsmengen sind nicht überliefert. Sie sind nur indirekt über die prinzipiellen Lagerkapazitäten der jeweiligen Einrichtungen abzuschätzen. Sie unterschieden sich erheblich (vgl. Textfeld Seite 23 bzw. Anhang 1).

Die Lagerkapazitäten bei Heeresmunitionsanstalten, Heeresnebenmunitionsanstalten, Luftwaffenhauptmunitionsanstalten und Luftwaffenmunitionsanstalten lagen je nach Anzahl der vorhandenen Lagerbunker zwischen einigen Tausend und rund 20.000 t, in Ausnahmefällen auch höher. Die Mengenangabe bezieht sich hierbei auf die Summe von scharfem und unscharfem (nicht explosivstoffhaltigem) Material [315, 320].

Beutemunitionslager (BML) hatten keine feste Lagerkapazität, da die Munition in Form von Freilagerstapeln in großen Waldbereichen gelagert war und die Kapazität somit keinen direkten Begrenzungen unterlag. Nach US-Angaben [52] befanden sich in den vier bayerischen Lagern zwischen 14.000 t (Hainsacker) und 40.000 t (Ponholz). Darunter befanden sich auch lose Explosivstoffe (Beutepulver).

Für Munitionsumschlagstellen im Operationsgebiet der kämpfenden Einheiten galt eine maximal zulässige Lagermenge von 5.000 t Munition oder 1.200 t Sprengstoff [279].

Die maximal zulässige Lagermenge von Frontausgabestellen des Heeres betrug 500 t Munition oder 100 t Sprengstoff [279].

Über entsprechende Vorschriften der Luftwaffe liegen keine Informationen vor.

Nach [323] wurden die **Munitionsniederlagen bei Einsatzhäfen der Luftwaffe** in Form von Munitionsgrundpaketen zu 137,5 t beliefert. Wie viele dieser Grundpakete zur Grundausrüstung gehörten, ist unbekannt. In der Regel verfügte ein Einsatzhafen über eine Munitionsniederlage aus fünf Lagerbunkern und somit über eine maximal zulässige Nettoexplosivstoff-Lagerkapazität von 100 Tonnen.

Munitionszüge zeichnen sich durch eine standardisierte Waggon-Beladungsmenge aus. Je nach Waggonanzahl eines Zuges ergeben sich Gesamtmunitionsmengen von 300 t bis 600 t pro Zug [341].

Flakstellungen bzw. Flakbatterien bestanden aus 4 - 8 Geschützen. Die Munition war entweder an den Geschützen in der Stellung selbst oder in „Munitionsunterschlüpfen“ gelagert, die mit den Stellungen über Gänge verbunden waren. Größere Flakbatterien verfügten über eine separate Munitionsniederlage. Die an den Flakstellungen gelagerte Munitionsmenge lag bei wenigen zehn Tonnen.

Munitionsursprünge und geschätzte Lagerkapazitäten	
Heeresmunitionsanstalten, Luftwaffenmunitionsanstalten, Luftwaffenhauptmunitionsanstalten	20 - 40.000 t
Heeresnebenmunitionsanstalten	um 5.000 t
Beutemunitionslager	einige 10.000 t
Munitionsumschlagstellen der Truppe	5.000 t
Frontausgabestellen der Truppe	500 t
Munitionsniederlagen bei Einsatzhäfen	einige 100 t
Munitionszüge	300 - 600 t
Flakstellungen	einige 10 t
Motorisierte Kolonnen	ca. 40 t
Truppenübungsplätze	einige 100 t

Die Gesamtmenge einer **motorisierten Kolonne** kann auf rund 40 t geschätzt werden [341].

Auf **Truppenübungsplätzen** befanden sich vermutlich nur relativ geringe Lagermengen in der Größenordnung weniger hundert Tonnen. Zum Teil kann es sich hierbei um Übungsmunition gehandelt haben.

Die im Frühjahr 1945 in Bayern insgesamt gelagerte Menge an Munition kann auf etwa 400.000 bis 500.000 t geschätzt werden. Darunter befanden sich knapp 91.000 t Kampfstoffmunition und etwa 50.000 t Beutemunition (vgl. Anhang 1).

Auf vielen der Lagerorte begann die **Wehrmacht** kurz vor dem Einrücken der Alliierten Truppen mit chaotischen Massensprengungen konventioneller Munition. Vorrangiges Ziel war weniger die völlige Vernichtung als die Unbrauchbarmachung der Bestände. Es gibt keine Unterlagen über diese Aktionen, sodass die vernichteten Mengen dieser **ersten Sprengphase** nur indirekt über die Lagerkapazitäten der Einrichtungen und unter Annahme bestimmter Umsatzquoten (z. B. 50%) abgeschätzt werden können.

Nach Kriegsende richteten **US-Truppen** in der amerikanisch besetzten süddeutschen Zone Munitionssammelstellen und Vernichtungsplätze ein und setzten die Praxis der Massensprengungen bis etwa Mitte 1946 fort. Auch über diese **zweite Sprengphase** wurden bisher keine Aufzeichnungen aufgefunden. Wie bereits bei der Wehrmacht wurden oft unsortierte Munitionsstapel aus Infanteriemunition, Artilleriegeschossen, Kartuschen und patronierter Munition, stapelweise gesprengt. Die Umsetzung der Kartuschen und Infanteriemunition verlief jedoch nur unvollständig, so dass die US-Sprengungen eine hohe Blindgängerrate und eine hohe Munitionsbelastung des Umfelds zur Folge hatten.

Ab Mitte 1946 übergaben die US-Truppen die Munition, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht vernichtet war, sukzessive an die Militärregierung (OMGUS). Diese überließ die „Stapel- oder Lagermunition“ dem Süddeutschen Länderrat, bestehend aus Bayern, Baden-Württemberg und Großhessen, zur Aufarbeitung. Hierzu wurde die **Staatliche Erfassungsstelle für Öffentliches Gut** (StEG) gegründet, in der Bayern als Mehrheitsgesellschafter durch das Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr vertreten wurde. Die StEG richtete in Bayern 20 Entschärfungsstellen (E-Stellen) ein. In dieser Epoche wurde nur handhabungsunsichere Munition sowie nicht zerlegbare Munition auf eigens angelegten Sprengplätzen der E-Stellen gesprengt. Verunreinigte Pulver sowie Infanteriemunition und Munition mit kleinem Kaliber (bis 2 cm) wurde an geeigneten Stellen bzw. in Panzeröfen verbrannt.

Während dieser Zeit war die StEG auch für Streumunition und Fundmunition verantwortlich. Streumunition waren im wesentlichen Blindgänger auf oder im Umfeld ehemaliger Munitionsstandorte, die durch Wehrmachts- oder US-Sprengungen entstanden waren. Unter Fundmunition sind im Wesentlichen alliierte Abwurfmunition aber auch Kampfmittel zu verstehen, die von deutschen Einheiten bei Kriegsende zurückgelassen worden sind.

Die von der StEG durchzuführenden Entschärfungsarbeiten sollten bis zum 31.12.1947 abgeschlossen sein. Da dieser Termin nicht einzuhalten war, wurde im September 1947 der Befehl zum Sprengen der Restbestände in Höhe von 46.000 t gegeben. Die Vernichtungsarbeiten konnten an den meisten Sprengstellen im Laufe des Jahres 1948 abgeschlossen werden. Bis zu ihrer Auslösung im Mai 1949 wurden durch die StEG die E-Stellen sowie weitere US-Sprengplätze aufgeräumt. Die durchgeführten Räumungen waren jedoch nach heutigen Maßstäben unvollständig.

Ab Juli 1949 erfolgten weitere Räumungen in der Zuständigkeit des Ministeriums für Wirtschaft und Verkehr (StMWV). Verschiedene **Privatfirmen** wurden mit der Durchführung der noch ausstehenden Arbeiten beauftragt: Sprengen von Restmengen auf den E-Stellen und Aufräumen, Entmunitionierung einer Vielzahl von weiteren Großfundstellen. Diese Arbeiten dauerten bis 1954. Insgesamt bargen und vernichteten die Privatfirmen 17.000 t an blind gegangener Munition. Klein- und Infanteriemunition wurde in gepanzerten Öfen verbrannt. Auch wenn die geräumten Flächen kampfmittelfrei übergeben wurden, waren auch die systematischen Großräumungen nach heutigen Maßstäben unvollständig.

Mit Abschluss dieser Räumungen galt Bayern als weitgehend kampfmittelfrei. Vorrangig war nun nicht mehr die Räumung solcher Flächen, sondern die Abwehr von Gefahren durch aufgefundene Kampfmittel. Seit April 1954 ist damit das Bayer. Staatsministerium des Innern (StMI) als das für die öffentliche Sicherheit zuständige Ressort befasst. Der dort eingerichtete Kampfmittelbeseitigungsdienst hat bis Anfang der 1990er Jahre auch auf diesen Sprengplätzen Kampfmittel beseitigt.

Zusammenfassend ist festzustellen: Die vor Kriegsende vorhandenen Lagereinrichtungen sind die wesentlichen Ursprünge der nach dem Krieg entstandenen Sprengplätze. Ihre maximalen Lagerkapazitäten stellen einen ersten Anhaltspunkt für die Größenordnung der später auf dem Standort vernichteten Mengen dar.

2.3 Gesprengte Munition

Die nachfolgend aufgeführten Munitionskategorien wurden auf den Sprengplätzen vernichtet (vgl. auch Anhang 1):

- Munition für Handfeuerwaffen (und MG)
- Bordwaffenmunition
- Artilleriegranaten
- Wurfgranaten
- Minen, Bomben
- Leucht- und Signalmunition
- Brandmunition/Phosphormunition
- Flugabwehrkanonenmunition (Flak)
- Stielhandgranaten, Handgranaten, Gewehrgranaten
- Panzerfäuste
- Zünder, Zündladungen, Sprengkapseln, Zündschrauben, Duplexkapseln, Zündhütchen.

Munition für **Handfeuerwaffen** (auch als Infanteriemunition bezeichnet) umfasst die Kaliber 5,6 mm bis 12,7 mm und enthält meist keinen Sprengstoff sondern nur Treibmittel und ggf. Pyrotechnik.

Der Schwerpunkt der in den ersten beiden Sprengphasen vernichteten Munition dürfte auf Hand- und Bordwaffenmunition sowie auf Artilleriemunition gelegen haben.

Unter **Bordwaffenmunition** ist die Patronenmunition für die (automatischen) Maschinengewehre (MG) oder Maschinenkanonen (MK) an Bord von Flugzeugen zu verstehen. Bordwaffenmunition enthielt nur vereinzelt Sprengstoffe (z. B. 15 mm-Granatpatronen).

Artilleriegranaten umfassten die Kaliber von 7,5 cm bis 21 cm, teilweise auch bis 42 cm.

Geschoss und Treibladung wird stets getrennt geladen, daher sind auf Sprengplätzen nur Geschosse und keine Patronen zu finden. Bei der Sprengausführung liegt der Anteil des Sprengstoffs am Gesamtgewicht bei etwa 10 %.

Wurfgranaten (Werfermunition) gab es in den Kalibern 4,5 bis 12 cm. Die Füllung bestand in der Regel aus TNT.

Minen existierten in einer Vielzahl unterschiedlicher Formen; die meisten Minenfüllungen bestanden aus TNT. Bestimmte Typen enthielten auch RDX/TNT, Amatol 50/50 oder Pikrinsäure (Grf. 88) **[433, 436, 437]**.

Bei den auf Sprengplätzen anzutreffenden **Bomben** handelte es sich in der Regel um die Typen SD1, SD2, SD4, SD10 und SD70, die mit granularem TNT, Amatol oder TNT/RDX-Mischungen gefüllt waren.

Der Hauptbestandteil aller **Leucht- und Markierungsmittel** war ein pyrotechnischer Satz. Er bestand je nach gewünschter Farbgebung aus verschiedenen Metallsalzen (Al, Mg, Sr, Zr, Ba, K) und Bindemitteln (PVC) [193, 433]. Als Ausstoßladung wurde Schwarzpulver verwendet.

Sprengphasen		
Herkunft	Zeitraum	Ursprung
Wehrmacht	April / Mai 1945	Dt. Munition
US-Truppen	1945 - 1946	Dt. Munition und US
StEG - unsichere Mun. 46/47		Dt. Munition
StEG - nach Sprengbef. 47/48		Dt. Munition
SMiWV Privatfirmen	1949 - 1954	Dt. u. US-Mun. (?)

Abb. 11:
Sprengphasen
während und nach dem
2. Weltkrieg

Brandmunition/Phosphormunition enthielt Brandstoffe. Feste Brandstoffe bestanden aus einer Magnesiumlegierung mit bis zu 50 % Aluminiumanteil, in die eine Thermit-Ladung (Mischung von Aluminium und Fe_2O_3 -Pulver) eingepresst ist. Teilweise wurde auch Roter Phosphor mit einem Zusatz von bis zu 25% Aluminium verwendet. **Flüssige Brandstoffe** enthielten einen flüssigen brennbaren Kohlenwasserstoff (Benzin, Benzol, Rohöl) und verschiedene Zusätze. **Selbstentzündliche Brandstoffe** enthielten bis zu 20% Weißen oder Roten Phosphor, der sich und damit die Brandmasse insgesamt bei Kontakt mit Luftsauerstoff selbst entzündete (vgl. auch Anhang 1).



Abb. 12: Übersicht über die häufigsten (Fund-)Kampfmittel aus dem 2. Weltkrieg (darunter auch alliierte Kampfmittel).

Flugabwehrkanonenmunition (Flak) kam in den Kalibern 2 cm (leichte Flak) bis zu 15 cm (Schwere Flak) zum Einsatz. Als Treibmittel diente Diethylglykoldinitrat-Röhrenpulver, als Sprengladung wurde gepresstes PETN verwendet [272, 443].

Stiel- und Handgranaten waren meist mit minderwertigen Sprengstoffen (teilweise auf Ammoniumnitrat-Basis) verfüllt.



Abb. 13:
2 cm Bordwaffen-
munition. 6 x in
Panzergranaten-
Ausführung; 2 x als
Minengeschoß.

Die Füllungen der **Gewehrgranaten** bestanden meist aus TNT [441]. Bei **Panzerfäusten** handelt es sich um Hohlladungsgeschosse, die meist mit TNT gefüllt waren [441]. Zünder, Zündladungen, Sprengkapseln, Zündschrauben, Duplexkapseln, Zündhütchen enthalten einen Initialsatz, der die Treibladung zur Zündung bzw. den Sprengstoff zur Detonation bringt. Vertiefende Informationen über Munition sind im **Anhang 1** enthalten.

2.4 Sprengstoffe der Wehrmacht

2.4.1 Trinitrotoluol

Trinitrotoluol (TNT, Tri, Trinol, Füllpulver 02, Fp. 02) war der Standardsprengstoff im 2. Weltkrieg. Er wurde in gegossener, gepresster oder loser Form in Pappbehältern verwendet. Teilweise wurde Montanwachs zur Phlegmatisierung zugesetzt. TNT gelangte in Granaten, Bomben, Minen und als Pioniersprengstoff zur Anwendung. TNT ist wesentlicher Bestandteil von vielen Sprengstoffmischungen z. B. mit Aluminium, PETN, Ammoniumnitrat, Hexogen und diversen Salzen. Der entscheidende Vorteil gegenüber anderen Sprengstoffen war seine gefahrlose Schmelzbarkeit und seine geringe Detonationsempfindlichkeit. Etwa 800.000 t TNT wurden im 2. Weltkrieg hergestellt. Dies entspricht 50% der einschließlich Streckmittel produzierten Sprengstoffgesamtmenge von 1,6 Mio. Tonnen.

2.4.2 Hexogen

Hexogen (RDX) war mit 78.600 t der zweitwichtigste Sprengstoff (5% der Gesamtmenge). Das nicht gießbare RDX fand als Sekundärsprengstoff ausschließlich in Mischungen mit anderen Explosivstoffen Verwendung, z. B. mit TNT, Dinitrobenzol, Ammoniumnitrat oder Aluminium. Es wurde vorrangig in Bomben und in gepresster Form auch in Zündern eingesetzt.

2.4.3 Nitropenta

Pentaerythritetranitrat (PETN, Np, Pentrit) befand sich vor allem in Zündladungen und kleinen Granaten, z. B. in Bordwaffenmunition. Die insgesamt hergestellte Menge lag bei 70.000 t. Dies entspricht rund 4% der Gesamtmenge.

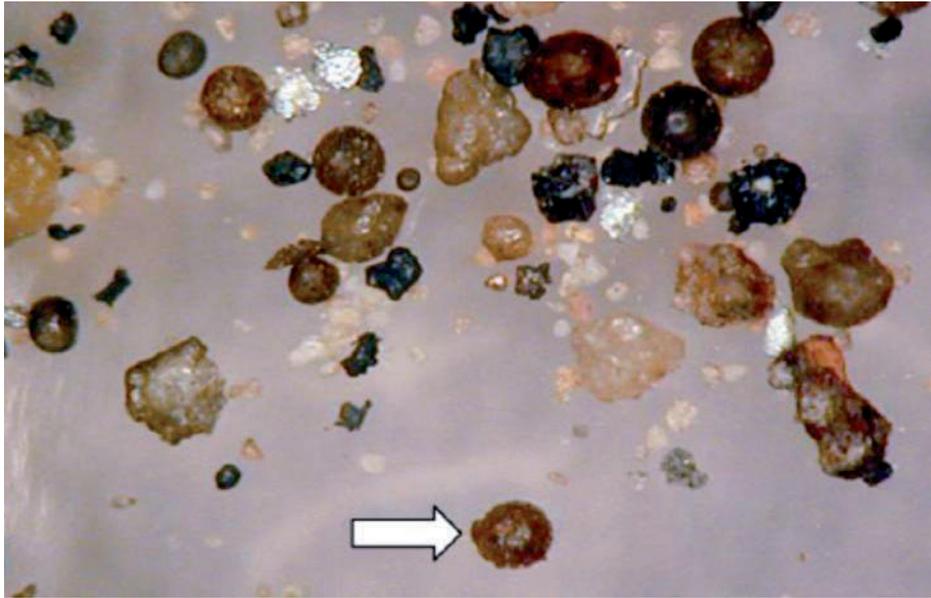


Abb. 14:
Mikroskopisch kleine
Detonationsrückstände
nach Low-Order-
Detonationen. Die
runden Komponenten
bestehen aus Comp B.

2.4.4 Pikrinsäure

Während des 2. Weltkriegs wurden ca. 15.500 t Pikrinsäure (Grf. 88, Pikrin) hergestellt. Dies entspricht rund 1% der Gesamtmenge. Pikrinsäure kam in Sprenggranaten, Minen, geballten Ladungen und als Pioniersprengstoff zur Anwendung.

Andere Sprengstoffe spielten im 2. Weltkrieg praktisch keine Rolle. Zum Strecken der verfügbaren Sprengstoffmengen wurde hauptsächlich Ammoniumnitrat verwendet. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass der wesentliche Teil der vernichteten deutschen Munition mit TNT bzw. mit TNT-Mischungen gefüllt war.

2.5 Pulver der Wehrmacht

Treibmittelrückstände können insbesondere auf US-Sprengplätzen eine Rolle spielen, da hier häufig Kartuschen und patronierte Munition zusammen mit Artilleriemunition vernichtet wurden. Im 2. Weltkrieg kamen einbasige, zweibasige und dreibasige Treibmittel zum Einsatz. Die Hauptkomponente Nitrozellulose (NC) ist aufgrund der schlechten Löslichkeit nicht umweltrelevant und nicht Bestandteil des Parameterumfangs. Als relevante Nebenbestandteile der Pulver sind Nitroglycerin (Ngl), Diethylenglykoldinitrat (DEGDN) und Nitroguanidin (Nigu) zu nennen. Pulver können zudem weitere Zusatzstoffe, wie z. B. Dinitrotoluol (DNT), Diphenylamin und Centralite (Harnstoffderivate) sowie Phthalate enthalten. Die mengenmäßig bedeutendsten Pulversorten waren NC- und DEGDN-Pulver.

2.6 Sprengstoffe in Beutemunition

In Bayern befanden sich zu Kriegsende vermutlich etwa 50.000 t an Beutemunition. Sie stammte vor allem aus Polen, Tschechien, Frankreich, England, Jugoslawien und Russland. Untersuchungen im Rahmen dieses Projekts ergaben, dass Munition dieser Länder dieselben Sprengstoffbestandteile enthält wie deutsche Munition. Hinweise auf unbekannte Zuschlagsstoffe fanden sich nicht (Anhang 2.6).

US-Artillerie-Munition, die vermutlich ebenfalls auf Sprengplätzen gemeinsam mit deutscher Munition vernichtet wurde, war vorrangig mit TNT gefüllt.

3 Die Folgen der Sprengungen

3.1 Freisetzung von Sprengstoffrückständen

Kennzeichnend für alle drei Sprengphasen (Wehrmacht, US und StEG) gegen und nach Ende des 2. Weltkriegs ist der Versuch, große Munitionsmengen massendetonativ umzusetzen. Dabei sind folgende Reaktionen der Munition möglich:

Möglichkeit 1: Die scharfe (sprengstoffhaltige) Munition detoniert „**high-order**“ unter vollständiger Umsetzung des enthaltenen Sprengstoffs. US-Sprengversuche ergaben, dass nach High-Order-Detonationen (einzeln gesprengter Granaten) lediglich 0,003 % der Füllung als Rückstand verbleiben. Dies entspricht im Regelfall nur wenigen Milligramm pro Granate. High-Order-Detonationen führen somit nur zu einer sehr geringen Umweltbelastung (Anhang 2.2).

Möglichkeit 2: Die Munition wird in unbeschädigtem Zustand fortgeschleudert und geht als **Blindgänger** im Streugebiet nieder. Die Füllung liegt nicht offen und stellt in dieser Form zunächst keine Gefährdung für die Umwelt dar. Hinweise zur Korrosion von Munition finden sich im Kapitel 3.5.

Die Blindgängerraten können u. U. bis zu mehrere 10 % der gesprengten Gesamtmenge erreichen.

Möglichkeit 3: Die Munition – bzw. die Granate – detoniert „**low-order**“ unter unvollständiger Umsetzung des enthaltenen Sprengstoffs (Deflagration). US-Untersuchungen ergaben, dass bei Low-Order-Detonationen einerseits große, sprengstoffgefüllte Bruchstücke der Geschosshüllen und lose **Sprengstoffbrocken** (chunks) verbleiben, andererseits aber auch erhebliche Mengen an mikroskopisch kleinen Sprengstoffrückständen (flakes) freigesetzt werden, die sich **heterogen** im Auswurf bzw. im Untergrund des Sprengstelle verteilen [208]. Auf Grund ihrer zur Gesamtmasse relativ großen Oberfläche stellen „flakes“ die größte Gefahr für das Grundwasser dar.

Im Rahmen des **Anhangs 2.4 „Gefährdungsabschätzung für Streugebiete“** konnte jedoch gezeigt werden, dass Sickerwasser ebenfalls sehr hoch – in der Größenordnung von 10 mg/l – mit Sprengstofftypischen Verbindungen beaufschlagt wird, wenn es in Kontakt zu losen Sprengstoffbrocken tritt. Nähere Ausführungen hierzu sind im Kapitel 7.2.3 enthalten.



Abb. 15:
Makroskopisch große
Rückstände
(Sprengstoffbrocken)
nach Low-Order-
Detonationen auf
einem Sprengplatz.

Möglichkeit 4: Die Munition zerbricht und wird fortgeschleudert. US-Untersuchungen belegen zudem, dass Munition (z.B. in Sprengtrichtern) durch die Druckwellen oder durch Munitionssplitter nachfolgender Sprengungen aufgebrochen werden kann. Dadurch entstehen wieder offener Sprengstoff und ggf. Brocken.

Ein weiterer Schadstoffeintrag, vorrangig im Auswurfbereich, kann bei den Massensprengungen durch nicht vollständig umgesetzte Schlagladungen erfolgt sein; US-Untersuchungen belegen dies [431].

3.2 Freisetzung von Pulverrückständen

US-Untersuchungen belegen, dass sowohl bei der regulären Deflagration in Hülsen als auch bei der offenen Verbrennung von Treibmitteln Rückstände verbleiben. Im Gegensatz zu den Sprengstoffen liegen diese Rückstände in Form von teil- und unverbrannten Fasern bzw. Partikeln vor.

Bei den Sprengungen nach dem 2. Weltkrieg platzten die Hülsen häufig nur auf oder das Pulver verpuffte, was zur Bildung größerer Rückstandsmengen führte.



Abb. 16: Treibmittelrückstände, gesprengte Hülsen für Bordwaffenmunition. Teilweise liegt die Blättchenpulverfüllung offen bzw. fällt heraus.



Abb. 17: Treibmittelrückstände, mit Blättchenpulver verunreinigtes Erdreich.



Abb. 18: Treibmittelrückstände, zerbrochenes Stäbchenpulver, aufgesammelt auf der Erdoberfläche im Trichterfeld eines Sprengplatzes.

Zusammenfassend ist das Kontaminationspotenzial der Massenvernichtungsplätze auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Die damals eingesetzten Schlagladungen waren meist nicht ausreichend dimensioniert, um die aufgestapelten Mengen umsetzen zu können bzw. eine hohe Umsetzungsrate zu garantieren.
- Kleinmunition lässt sich massendetonativ nicht umsetzen.
- Durch die unzulängliche Massenvernichtungstechnik entstand ein nicht unerheblicher Teil an Low-Order-Detonationen und an Blindgängern. Die Low-Order-Detonationen hinterließen große

Mengen an Sprengstoffbrocken und mikroskopisch kleinen Rückständen. Diese verteilten sich mit der Druckwelle heterogen im Auswurfbereich.

- Durch wiederholte Nutzung der Trichter wurden Blindgänger im Trichteruntergrund durch Splitterflug benachbart detonierender Munition sekundär low-order initiiert oder aufgebrochen.
- Durch die Verwendung von losem TNT (oder Trialen) als Schlagladung entstanden zusätzliche Belastungen, da diese nicht eingehüllten Ladungen unvollständiger umsetzen.
- Die Sprengung von treibmittelhaltiger oder patronierter Munition erzielte nur sehr geringe Umsetzungsraten, da die Detonationsgeschwindigkeiten für eine vollständige Umsetzung dieser Munition nicht ausreichten.

Abb. 19 bis Abb. 21 zeigen mikroskopische Aufnahmen von Partikeln, die nach dem Verschluss einer panzerbrechenden Rakete (vor dem Geschütz) auf einem US-Übungsplatz eingesammelt wurden.

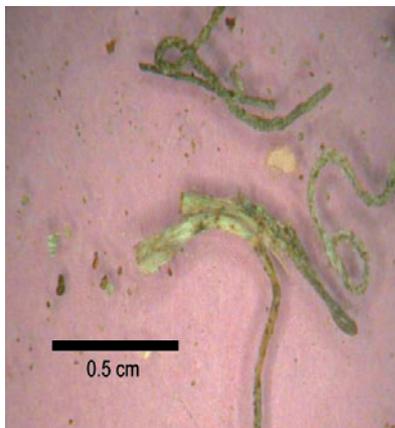


Abb. 19: Faserreste, die Nitroglycerin (Ngl) enthalten.



Abb. 20: Plättchen, die vermutlich aus Nitrocellulose (NC) bestehen.



Abb. 21: Mikroskopische Aufnahme eines faserigen NC-Pulverrückstands. Nach der Zugabe eines Reagens verfärbt sich das im Pulver enthaltene 2,6-DNT rötlich.

Die **Rückstandsmengen an Sprengstoffen**, die sich bei den deutschen Massensprengungen gebildet haben, können nur grob abgeschätzt werden. Unter Berücksichtigung amerikanischer Versuche liegen sie vermutlich im Bereich von **0,01 bis maximal 1 %** der ursprünglichen Sprengstofffüllmenge (Anhang 2.2). Eine Angabe der prozentualen Anteile der Rückstandsmengen bei Pulvern ist nicht möglich.

3.3 Verteilung der Rückstände

Die partikelförmigen Sprengstoffrückstände (der Low-Order-Detonationen) wurden vorrangig mit dem Auswurf im direkten Umfeld der sich ausbildenden Sprengtrichter verteilt. Nur ein Teil des belasteten Auswurfs fiel nach der Detonation wieder in den Trichter zurück (Abb. 22, Bilder 1 - 3).

Mit der Zeit entstanden flache Wälle um die Trichter. Die Schadstoffe reicherten sich daher zunächst außerhalb des Trichters an. Eine deutlich geringere Menge an Rückständen befand sich am Trichtergrund.

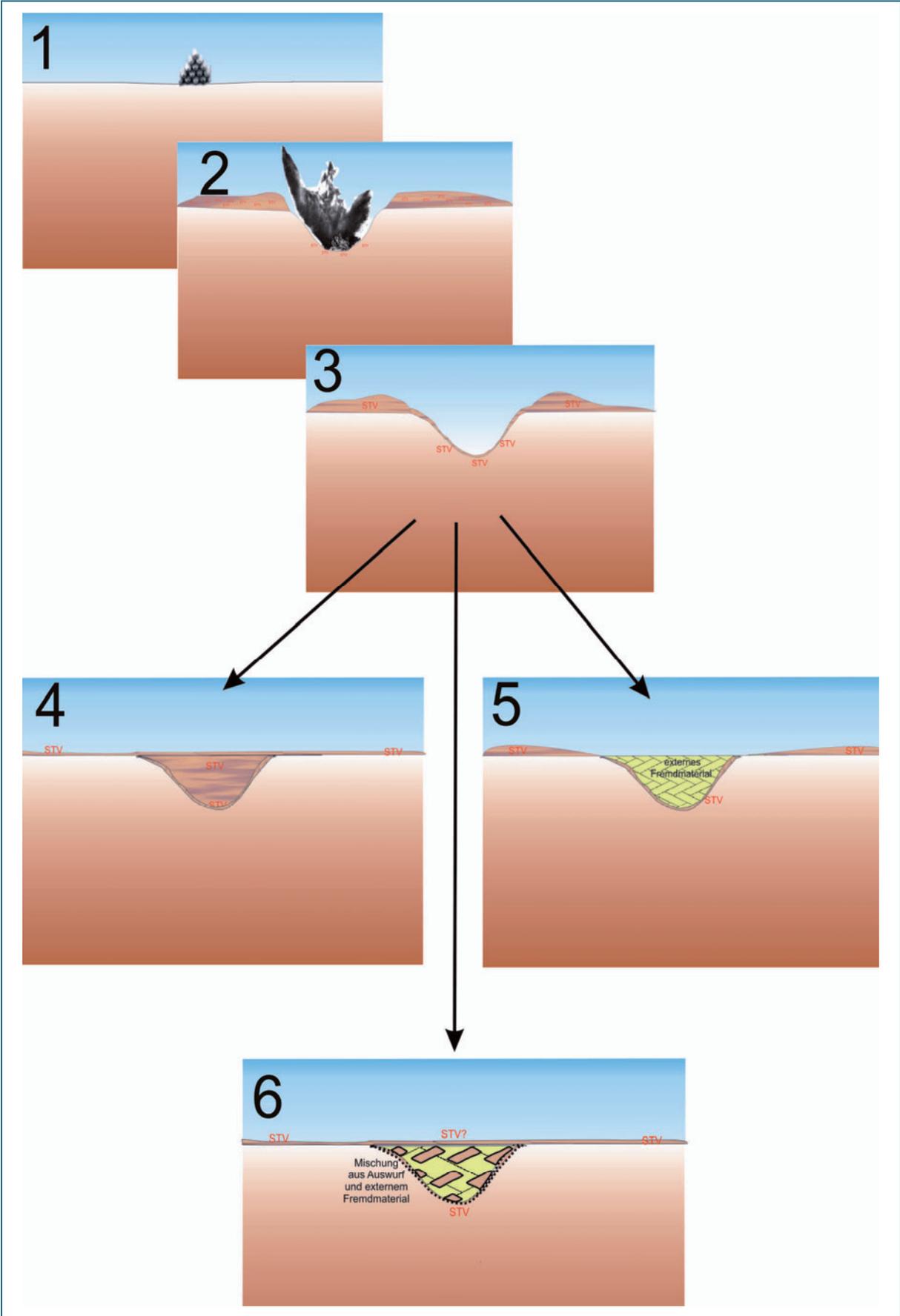


Abb. 22: Schematische Darstellung der prinzipiellen Verbleibmöglichkeiten des Auswurfs

Auf den meisten Sprengplätzen wurden die Trichter nach Beendigung der Sprengungen oder nach der darauf folgenden Entmunitionierung während der Aufräumarbeit bis 1954 rückverfüllt und anschließend entweder aufgeforstet oder wieder landwirtschaftlich genutzt. In der Regel wurden der Auswurf bzw. die Wälle als Rückverfüllmaterial verwendet (Abb. 22, Bild 4). In diesem Fall wurden die Schadstoffe im Trichter aufkonzentriert. Trotzdem ist davon auszugehen, dass bis heute Reste des Auswurfs im Umfeld der Trichter verblieben sind (Abb. 22, Bild 4). Bei einer Erkundung sind daher stets Trichter **und** Auswurfbereich zu untersuchen.

Auf manchen Standorten wurden die Trichter mit externem Fremdmaterial wie Bauschutt oder Hausmüll rückverfüllt (Abb. 22, Bild 5) oder mit einer Mischung aus Auswurf und externem Fremdmaterial (Abb. 22, Bild 6). Der belastete Auswurf oder Teile davon können im Umfeld verblieben sein. Im Regelfall wurden diese Auffüllungen mit kontaminiertem Auswurf oder mit externem Fremdmaterial abgedeckt.



Abb. 23: (Weitgehend?) unverfüllter Sprengtrichter; der Wall aus Auswurfmaterial ist noch zu erkennen. Der große Durchmesser deutet auf einen hohen Sprengumsatz hin. Allerdings ist die Tiefe angesichts des Durchmessers auffallend gering. Muna Schimmerwald.



Abb. 24: Komplett rückverfüllter Sprengtrichter. Es sind Wuchsstörungen zu erkennen. Sprengplatz Brunnau, um 2000.



Abb. 25: Teilverfüllter Trichter. Auswurf ist kaum mehr zu erkennen. Sprengplatz Raffa, um 2000.

3.4 Freisetzung von „offenen“ Kampfmitteln im Streugebiet

Aufgebrochene „Streumunition“ liegt zum Teil noch heute im Streugebiet von Sprengplätzen, da die nachfolgenden Räumungen zu kleinräumig und nach heutigen Standards zu uneffektiv waren. Das Hauptverbreitungsgebiet der Streumunition ist erfahrungsgemäß schwerpunktmäßig im Radius von maximal 500 m um die ehemaligen Sprengstellen zu erwarten.



Abb. 26:
Low-order-detonierte
15 cm (Blindgänger-)
Granate.

Im Rahmen der Arbeitshilfe (Anhang 2.4) wurde versucht, folgende Fragen zu klären:

- Wie häufig kommen aufgebrochene Kampfmittel und lose Sprengstoffbrocken auf einem Sprengplatz vor?
- Wie groß ist näherungsweise der Flächenanteil an offen liegendem Sprengstoff?
- Stellt der offen liegende Sprengstoff eine Gefährdung für das Grundwasser dar?

Testsondierungen auf zwei ausgewählten Sprengplätzen ergaben trotz erheblicher Unterschiede bei den gefundenen Munitionstypen ähnliche Ergebnisse. Pro Tonne an prognostizierter Streumunition lagen die offen liegenden Sprengstoffoberflächen zwischen 0,14 und 0,16 m².

Die Ergebnisse parallel durchgeführter Laborversuche belegen, dass Sickerwasser aus „offen liegendem Sprengstoff“ bzw. Sprengstoffbrocken erhebliche Mengen an STV mobilisieren kann. In den Eluatn der Versuchssäulen stellten sich sehr hohe Sprengstoffkonzentrationen von 5 bis 12 mg/l (Σ Sprengstoffe) ein. Ein Zusammenhang zwischen der Größe der benetzbaren Sprengstoffoberfläche und der Sprengstoffmenge, die in Lösung geht, ließ sich nicht ableiten. Hier spielen offensichtlich spezifische Eigenschaften der Füllung und vermutlich der Verwitterungszustand der Brocken eine dominierende Rolle. Somit ist bei Prognosen zu eluierbaren Mengen auch bei gut prognostizierbarer benetzbarer Sprengstoffoberfläche mit großen Unsicherheiten zu rechnen.

In erster Näherung wurden für eine Grundwasserneubildung von 300 l/(m²•a) jährliche Austräge von 0,4 bis 5,3 g an Sprengstoff pro Quadratmeter offen liegender Sprengstoffoberfläche ermittelt.

Das Emissionspotenzial eines Platzes ist daher zusätzlich zu den freigesetzten Sprengstoffrückständen auch von der Menge an Streumunition bzw. von ihrem Anteil an aufgebrochenen Kampfmitteln mit offen liegenden Sprengstoffoberflächen abhängig, die heute noch auf einem Platz vorhanden ist. Entsprechend den Berechnungen in **Anhang 2.4** ergibt sich bei einer **Best-Case**-Betrachtung, die von lediglich 5 t Streumunition ausgeht, aus offener Munition ein Jahreseintrag von nur 0,3 g. Eine **Worst-Case**-Abschätzung mit 300 t Streumunition, höheren Anteilen an aufgebrochenen Kampfmitteln und geringfügig höheren Lösungsraten kommt zu 900 g an STV als Jahreseintrag.

Für Streugebiete von Standorten, auf die das Best-Case-Szenario zutrifft, stellen offene Kampfmittel unter Umständen nur untergeordnet eine Gefahr für das Grundwasser dar. Derartige Best-Case-Verhältnisse können gegeben sein auf Sprengplätzen,

- die einen sehr geringen Sprengumsatz bis 800 t aufweisen (Kategorie S),
- die in der Vergangenheit sehr sorgfältig beräumt wurden, einschließlich Sprengstoff in Brockenform,
- auf denen vorrangig Munition kleineren Kalibers gesprengt wurde und auf denen der Anteil an aufgebrochenen Kampfmitteln sowie an losen Sprengstoffbrocken somit gering ist.

Eine deutliche Tendenz in Richtung Worst-Case-Szenario ist am ehesten bei mittleren und großen Sprengplätzen der Kategorien M, L und XL zu beobachten, insbesondere wenn vor den Sprengungen der StEG auch unkontrollierte Massensprengungen durch die Wehrmacht und/oder durch die US-Armee stattgefunden haben. Hohe Kampfmittelbelastungen sind auch zu erwarten, wenn vor allem größere Kaliber gesprengt wurden. In diesen Fällen kann allein das Vorhandensein von offenen Kampfmitteln bereits zu Frachten im Sickerwasser führen, die nicht mehr als „geringfügig“ zu betrachten sind.

Neben den fein verteilten Sprengrückständen müssen Sprengplätze auch hinsichtlich des Gefährdungspotenzials aus offener Streumunition bewertet werden. Hierzu sind im Regelfall Testfeldsondierungen mit entsprechender Klassifizierung der Fundmunition erforderlich.

3.5 Geschlossene Kampfmittel und Korrosionsprognosen

Bei intakten Kampfmitteln sowie bei Ausschluss von Sauerstoff und Feuchtigkeit im Innern der Munition ist Korrosion nur von außen nach innen möglich.

Aktuelle Untersuchungen kommen zum Schluss, dass die Korrosionsrate von Munition, die von Boden umschlossen ist, vom Bodenwiderstand, dem pH-Wert, dem Redoxpotenzial und dem Gehalt an Eisen und Bikarbonat abhängt. Im Normalfall bildet sich eine Schicht aus Rost oder Kalk um die Hülle und schützt sie vor weiteren Angriffen. Ab einer bestimmten Hüllendicke ist ein Durchkorrodieren unwahrscheinlich. Andere Modellrechnungen an Granaten ergaben im Mittel Korrosionsraten in Höhe von 0,07 und 0,08 mm/a und prognostizierten durchschnittliche „Munitionsleben“ – je nach Hüllendicke – von knapp 200 bis über 450 Jahren. Die ermittelten Korrosionsraten stimmten gut mit Feldwerten überein.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Korrosionsraten von verschiedenen Faktoren abhängen und wahrscheinlich unter 0,1 mm pro Jahr liegen. Auf Sprengplätzen werden demnach zum jetzigen Zeitpunkt nur dünnwandige Granaten Korrosionslöcher aufweisen. Durch mechanische Beanspruchungen, denen die Kampfmittel durch die Sprengungen ausgesetzt waren, können Brüche oder Risse entstanden sein, die die Korrosionsrate erhöhen. Insgesamt ist das Gefährdungspotenzial durch korrodierende Kampfmittel verglichen mit anderen Einträgen derzeit noch relativ gering. Mittelfristig bis langfristig ist jedoch mit einem zusätzlichen und mit der Zeit ansteigenden Frachtbeitrag durch korrodierende Kampfmittel zu rechnen

4 Umweltverhalten von Explosivstofftypischen Verbindungen

Das Umweltverhalten von Explosivstofftypischen Verbindungen (ETV) wird maßgeblich von folgenden Parametern bestimmt:

- Flüchtigkeit (bzw. Dampfdruck)
- Photolytische Abbaubarkeit
- Lösungsrate/Löslichkeit
- Biotische/abiotische Abbaubarkeit
- Adsorptionseigenschaften

Auf Grund der generell sehr niedrigen **Dampfdrücke** der meisten ETV spielt die Verflüchtigung im Rahmen der Bearbeitung von Sprengplätzen keine Rolle. Der Abbau durch **Photolyse** stellt für viele ETV den schnellsten und vollständigsten Abbauweg dar; die photolytischen Halbwertszeiten liegen oft im Bereich weniger Stunden. Hierzu müssen die ETV in gelöster Form vorliegen und dem Sonnenlicht ausgesetzt sein. Partikuläre Sprengstoffe oder Kontaminationen im Boden unterliegen keinem photolytischen Abbau. Bei Sprengplätzen ist der photolytische Abbauweg in der Regel unbedeutend, da rückverfüllte Sprengtrichter im Normalfall nicht wassergefüllt sind bzw. keinen hydraulischen Anschluss an Bäche oder stehende Oberflächengewässer haben.

Alle ETV sind in Abhängigkeit von der Temperatur in gewissem Umfang in **Wasser löslich**, in der Regel im Bereich von einigen zehn bis einigen hundert mg/l. Die Wasserlöslichkeit allein ist nicht das entscheidende Kriterium zur Beurteilung des Umweltverhaltens. Entscheidender ist die **Lösungsrate**, die die Geschwindigkeit beschreibt, mit der Explosivstoffe unter optimalen Kontaktbedingungen in die gelöste Phase übertreten. Sie wird beeinflusst von

- der Löslichkeit der Substanz,
- der im Boden vorhandenen Stoffkonzentration,
- der Größe der Oberfläche der Explosivstoffrückstände,
- ihrer Zugänglichkeit für Wasser bzw. für eindringende Niederschläge,
- der Menge und der Dynamik der Niederschläge und
- der Temperatur.

4.1 Sprengstofftypische Verbindungen

STV liegen auf Sprengplätzen stets in Form von Sprengstoffpartikeln im Untergrund vor. Eine Untersuchung über die typische Korngrößenverteilung der Rückstände auf Sprengplätzen gibt es bisher nicht. Die partikuläre Form der STV beeinflusst ihre zeitliche Freisetzung bzw. Auflösung. Die Mechanismen, die offensichtlich zu unterschiedlichen Freisetzungsraten im Feld führen können, sind bisher nicht vollständig geklärt.

Nach der Lösung der STV durch eindringendes Niederschlagswasser erfolgt der weitere Transport über die Bodenlösung, wobei in gewissem Umfang ein Rückhalt (Retardation) durch Adsorption an Bodenbestandteile möglich ist. Der Rückhalt wird im Wesentlichen durch die Stoffeigenschaften und durch den Abbau der STV bestimmt.

Adsorption wird entscheidend von Wechselwirkungen der gelösten Sprengstoffe mit reaktiven Oberflächen des Bodens geprägt (vgl. Anhang 2.7). Von Bedeutung sind hierbei:

- Irreversible Adsorption an organische Substanz (Huminstoffen)
- Reversible Adsorption an Tonminerale
- Adsorption an Eisen- oder Manganoxiden (Fe(II) bzw. Mn(IV)).

Organisches Material bzw. **Huminstoffen** können Nitroaromaten adsorbieren. Steht ausreichend Zeit zur Verfügung, werden Nitroaromaten irreversibel adsorbiert. Sie unterliegen keinem weiteren Abbau und werden nicht mineralisiert. Eine Extraktion mit üblichen Lösemitteln ist nicht mehr möglich.

Nitroaromaten können ebenso von **Tonmineralien** gebunden werden. Dieser Vorgang ist reversibel. Der Adsorptionsgrad ist abhängig von der Substanz selbst, dem Gehalt an Tonmineralen, ihrer Kationenaustauschfähigkeit und der zur Verfügung stehenden Zeit. TNT adsorbiert aus sterischen Gründen am besten, seine Abbauprodukte schlechter. Gleichgewichte stellen sich häufig innerhalb weniger Minuten ein.

STV können ebenfalls von **Oxiden und Hydroxiden** adsorbiert, metabolisiert und unter reduzierenden Bedingungen irreversibel gebunden werden. Dies erfolgt im Zeitraum von Tagen bis Wochen.

Viele der Explosivstoffe sind **biotisch/abiotisch** abbaubar. Wie bei der Photolyse gilt auch für den biotischen/abiotischen Abbau, dass STV in gelöster Form vorliegen müssen.

Hexogen

Hexogen adsorbiert in wesentlich geringerem Maß an Tone oder Huminstoffen als TNT und ist daher im Boden und im Grundwasser sehr mobil. Hexogen ist sehr persistent und wird nur in anaerobem Milieu unter stark reduzierenden Bedingungen zu Mononitrosohexogen (MNX) abgebaut. Beim weiteren Abbau kann es zur Ringöffnung und weitgehender Mineralisierung kommen. Hexogen kann von Pflanzen aufgenommen und in Blättern oder Nadeln transportiert werden.

Hexogen		TNT		Treibmittelkomponenten
kaum Abbau zu	→ MNX	Abbau zu	→ ADNT	Abbau nicht relevant
kaum Adsorption	kaum Adsorption kaum Abbau	Adsorption möglich	Adsorption möglich	Adsorption nicht relevant
im Boden sehr mobil	im Boden sehr mobil	im Boden mobil	im Boden mobil	fixiert in NC-Matrix
hohe GW-Gefährdung	GW-Gefährdung	GW-Gefährdung	GW-Gefährdung	keine GW-Gefährdung
im GW sehr mobil	im GW sehr mobil	im GW eingeschränkt mobil	im GW eingeschränkt mobil	

Abb. 27: Vereinfachte Zusammenstellung der Stoffcharakteristik von ETV

TNT

TNT kann reversibel an Tonmineralien sowie quasi irreversibel an Huminstoffen und Mineraloberflächen mit reduzierenden Bedingungen gebunden werden. Im Grundwasser breitet sich TNT langsamer aus als RDX.

Gelöstes TNT wird im Boden z. T. zu Aminodinitrotoluolen (**ADNT**) abgebaut. Im Regelfall wird bei den Nitroaromaten eine der Nitrogruppen reduziert so dass Aminodinitrotoluole (ADNT) entstehen. Die Abbaurate steigt mit der Zunahme der reduzierenden Bedingungen. Ein weiterer Abbau mit Ringspaltung und Mineralisierung von Nitroaromaten findet in der Regel nicht statt. Diaminonitrotoluole (DANT) oder Triaminotoluol (TAT) werden im Regelfall nicht gebildet.

Trinitrobenzol

Trinitrobenzol (TNB) kann biotisch (über die Zwischenprodukte Trinitrobenzylalkohol bzw. Trinitrobenzoesäure) und photolytisch aus TNT gebildet werden. Das im Boden und im Grundwasser als mobil einzustufende TNB kann zu 3,5-Dinitroanilin (3,5-DNA) abgebaut werden.

MNX und Hydrazin

MNX und vermutlich auch Hydrazin können im Grundwasser von Sprengplätzen, die mit Hexogen belastet sind, als Abbauprodukte auftreten. MNX liegt in der Regel in deutlich geringeren Konzentrationen vor als RDX. Hydrazin kommt nach dem derzeitigen Kenntnisstand nur im Spurenbereich vor. Der Sachstand zu den beiden Verbindungen ist derzeit nicht ausreichend, um generelle Vorgaben für die Erkundung von Sprengplätzen machen zu können.

Pikrinsäure

Pikrinsäure (Trinitrophenol, TNP) ist im Regelfall nicht untersuchungsrelevant. Ausnahmen sind Sprengplätze, auf denen Beutemunition vernichtet worden ist.

Nitropenta

Nitropenta (PETN) wird nur langsam durch Sickerwasser aufgelöst. Die gelösten Anteile adsorbieren wenig an Böden. Sie unterliegen jedoch einem relativ schnellen Abbau. Aus diesen Gründen weist Nitropenta nur ein geringes Gefährdungspotential für das Grundwasser auf.

Tetryl

Tetryl ist in gewissem Umfang mobil. Aufgrund der unbedeutenden Einsatzmengen ist eine Grundwassergefährdung durch Tetryl als sehr gering einzuschätzen.

4.2 Pulvertypische Verbindungen

Auf Sprengplätzen liegen Pulverrückstände in Form von unverbrannten oder nur teilweise verbrannten Fasern, Blättchen oder Stäbchen aus Nitrozellulose (NC) vor. NC wirkt hierbei als polymere Matrix, in der die relevanten Zusätze wie z. B. Dinitrotoluole (DNT), Nitroglycerin (NgI) oder Diethylenglycoldinitrat (DEGDN) eingebettet und somit schlecht löslich sind. Nachweise in Laboreluaten können auf die mit der Eluierung verbundene mechanische Beanspruchung des Bodens bzw. der Pulverrückstände zurückgeführt werden.

5 Vorgehen bei der Untersuchung von Sprengplätzen

Die Erhebung und historische Erkundung der Rüstungsaltslasten und Sprengplätze ist im Rahmen eines bayernweiten Projekts [190, 452] für Sprengplätze bereits erfolgt. Ergibt die Historische Erkundung Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ist nach den Vorgaben der Bundesbodenschutzgesetzgebung eine Orientierende Untersuchung (OU) durchzuführen. Bei Sprengplätzen liegt generell ein Anhaltspunkt für eine schädliche Bodenveränderung vor, da die damalige Verfahrensweise der Massensprengungen von großen Mengen an Munition über einen längeren Zeitraum nachweislich zu unvollständigen Umsetzungen der Explosivstofffüllungen und damit zu Einträgen von erheblichen Mengen an Schadstoffen in den Untergrund geführt hat. Deshalb ist auch bei Sprengplätzen im Regelfall eine Orientierende Untersuchung durchzuführen.

Die Empfehlungen und Vorgaben im Rahmen dieser Arbeitshilfe beschränken sich auf Untersuchungen für die Wirkungspfade Boden–Mensch und Boden–Grundwasser. Der Wirkungspfad Boden–Mensch wird nur im oberflächennahen Bereich der Trichter und der Auswurfbereiche tangiert. Für diese Areale können die Erkundungen für den Pfad Boden–Grundwasser und für den Pfad Boden–Mensch aufeinander abgestimmt werden.

Bei der Untersuchung eines Sprengplatzes sind **immer** folgende Verdachtsbereiche zu überprüfen:

- **Sprengtrichter** (rückverfüllt und/oder offen)
- **Auswurfbereiche**
- **Streugebiet mit offenen Kampfmitteln.**

Zusätzlich ist das mögliche Vorliegen von

- **losen Sprengstoffbrocken**

in den Auswurfbereichen und in den Sprengtrichtern bei den Untersuchungen abzuklären und in der Bewertung zu berücksichtigen.

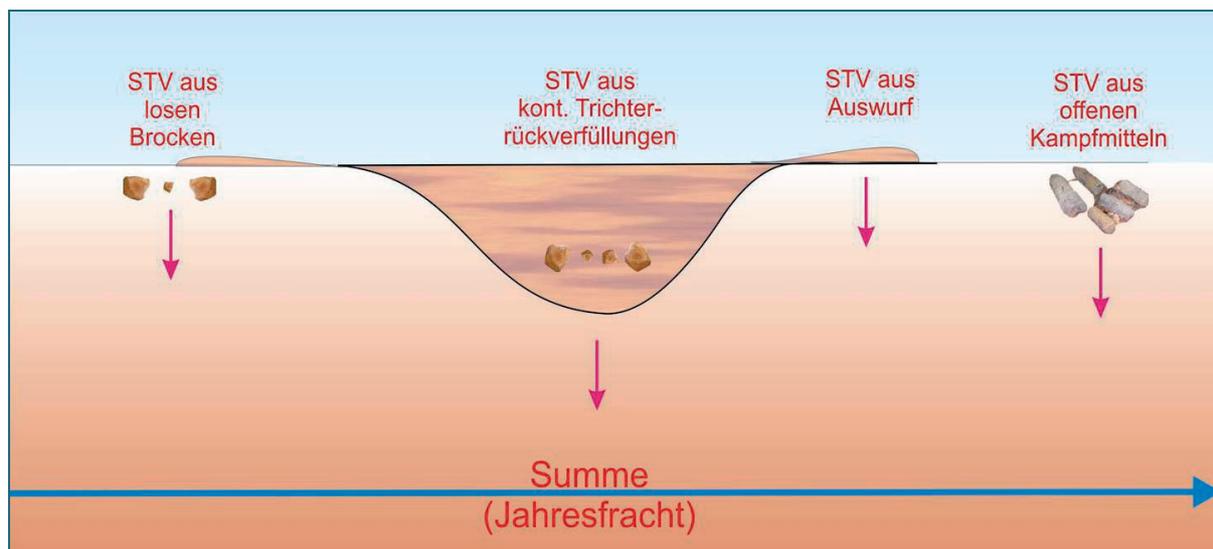


Abb. 28: Vereinfachte schematische Darstellung der Verdachtsbereiche „Sprengtrichter“, „Auswurfbereiche“, „lose Sprengstoffbrocken“ und „Kampfmittel mit offenen Sprengstoffoberflächen“. Offene Kampfmittel können auch im Auswurf und in Trichtern vorkommen.

Werden bei den Beprobungen, gemäß nachfolgend beschriebener Vorgehensweise, Kontaminationen durch STV in Sprengtrichtern und/oder Auswurfbereichen nachgewiesen, sind die Frachten aus Sprengstoffbrocken im Rahmen der Detailuntersuchung zu berücksichtigen.

Die Bewertung der Gefahren aus losen Sprengstoffbrocken entfällt, wenn in Sprengtrichtern und Auswurfbereichen keine STV nachgewiesen werden konnten. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass bei der Munitionsvernichtung besondere Bedingungen vorgelegen haben (z. B. ein spezielles Munitionsprofil), die nicht zur Bildung von mikroskopisch kleinen Rückständen und damit auch nicht zur Bildung von makroskopisch großen Sprengstoffbrocken geführt haben (vgl. Kap. 7.1.3).

Ebenso entfällt eine Bewertung der Gefahren aus offenen Kampfmitteln, wenn der Sprengplatz in seiner Gesamtheit (Sprengtrichter und Streugebiet) nach heutigem Stand der Technik entmunitioniert worden ist.

Für den Pfad Boden–Mensch ist das Ziel der OU, festzustellen, ob die Prüfwerte für die jeweiligen Nutzungsszenarien überschritten werden. Für den Pfad Boden–Grundwasser ist im Rahmen der OU zu klären, ob es im Sickerwasser zu einer Überschreitung der Prüfwerte bzw. Geringfügigkeitsschwellen am Ort der Beurteilung (OdB) kommt.

Durch ein schrittweises Vorgehen bei der OU kann der Umfang der Untersuchungen auf das primäre Ziel beschränkt werden, den Altlastverdacht entweder auszusräumen oder hinreichend zu bestätigen. Sobald sich für einen der Verdachtbereiche der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast hinreichend bestätigt hat, sind nach Nr. 4.1.2 BayBodSchVwV von der Kreisverwaltungsbehörde (KVB) die weiteren Maßnahmen zu veranlassen. Die im Rahmen der OU noch nicht überprüften Verdachtbereiche sind in der anschließenden Detailuntersuchung abzuarbeiten.

Bei Sprengplätzen gilt jedoch, **dass die Entlassung aus dem Altlastverdacht erst möglich ist, wenn alle Verdachtbereiche entsprechend den nachfolgend gegebenen Empfehlungen vollständig überprüft sind** und für den Ort der Beurteilung keine Überschreitung eines Geringfügigkeitsschwellenwertes prognostiziert wird bzw. – in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Verhältnissen – für das Grundwasser der Nachweis erbracht ist, dass keine erhebliche Grundwasserverunreinigung vorliegt.

Das bedeutet, dass im Rahmen dieser Arbeitshilfe der jeweilige Umfang von OU und DU nicht festgelegt werden kann, da er davon abhängt, in welchem Stadium der Verdacht hinreichend bestätigt wird.

Die erforderlichen Erkundungen werden deshalb sinnvollerweise in drei Untersuchungsstufen eingeteilt. Der jeweilige Umfang bzw. die jeweilige Untersuchungsintensität kann jedoch variieren, je nachdem, ob die Untersuchungsstufe im Rahmen der OU oder DU durchgeführt wird.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die drei Stufen im Rahmen der Arbeitshilfe zusammen unter dem Punkt „Orientierende Untersuchung“ beschrieben. Sofern sich Änderungen bei der Durchführung der Maßnahmen als Detailuntersuchung ergeben, wird im entsprechenden Kapitel darauf verwiesen.

Untersuchungsstufe 1: Erkundung der Sprengtrichter und Auswurfbereiche

Prinzipiell ist im Rahmen der OU eine exemplarische d. h. stichpunktartige Überprüfung von Sprengtrichtern und Auswurfbereichen möglich. Der Altlastverdacht ist als bestätigt anzusehen, wenn aufgrund der Schadstoffbelastung mindestens eines Eluats eine Überschreitung eines Prüfwerts oder einer Geringfügigkeitsschwelle am OdB prognostiziert wird und der Messwert als plausibel erscheint.

Da Schadstoffe auf Sprengplätzen jedoch im Regelfall extrem heterogen verteilt sind, besteht bei negativen Untersuchungsergebnissen punktueller Aufschlüsse oder einzelner Flächenmischproben die Gefahr, den Anfangsverdacht nach § 4 Abs. 2 BBodSchV verfrüht auszusräumen. Daher muss im Rahmen der OU ein **Mindestuntersuchungsumfang** eingehalten werden. D. h. der Altlastverdacht gilt für Sprengtrichter und Auswurfbereiche erst als zuverlässig ausgeräumt, wenn bei kleinen und mittleren Plätzen (Kategorien S und M) mindestens 50 % und bei großen Sprengplätzen (Kategorien L

und XL) mindestens 20 % der insgesamt lokalisierbaren Sprengtrichter geöffnet und beprobt sowie die Auswurfbereiche in ihrer Gesamtheit erfasst worden sind, ohne dass sich hierbei der Gefahrenverdacht bestätigt hat.

Wurden weder in Eluaten aus Sprengtrichtern noch in Eluaten aus den Auswurfbereichen STV nachgewiesen, ist in diesem Fall anzunehmen, dass bei der Munitionsvernichtung besondere Bedingungen vorgelegen haben (z. B. ein spezielles Munitionsprofil), die nicht zur Bildung von mikroskopisch kleinen Rückständen und damit auch nicht zur Bildung von makroskopisch großen Sprengstoffbrocken geführt haben (vgl. Kap. 7.1.3). Sofern in den Eluaten STV nachgewiesen wurden, sind die möglichen Frachten aus losen Sprengstoffbrocken im Rahmen der Detailuntersuchung zu berücksichtigen (vgl. Kap. 7.2.3).

Untersuchungsstufe 2: Erkundung des Streugebiets auf Kampfmittel mit offenen Sprengstoffoberflächen

Zur Überprüfung des Streugebiets müssen mindestens fünf Testfelder mit je 1.000 m² Fläche im Abstand von 100 bis 500 m um das Sprengfeld auf Kampfmittel abgesucht und hierbei die Größe an offenen liegenden Sprengstoffoberflächen ermittelt werden. Mit diesen Ergebnissen lässt sich dann unter Berücksichtigung bestimmter STV-Frachten, die im Rahmen dieser Arbeitshilfe (Anhang 2.4) ermittelt wurden, die durchschnittliche Sickerwasserbelastung am OdB im Streugebiet berechnen. Wird dabei eine Überschreitung einer Geringfügigkeitsschwelle prognostiziert, gilt der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast als hinreichend bestätigt. Bestätigt sich der Verdacht dagegen nicht und ergab sich auch in der Stufe 1 kein hinreichender Verdacht, so sollte der Gesamtbefund in der Stufe 3 durch Grundwasseruntersuchungen auf Plausibilität geprüft werden.

Untersuchungsstufe 3: Abschließende Grundwasseruntersuchungen

Nach den vorliegenden Erfahrungen aus der Untersuchung von Sprengplätzen (Anhang 2.1) lässt sich der Gefahrenverdacht eines Sprengplatzes im Rahmen der OU über die ausschließliche Untersuchung von Bodenproben und über exemplarische Flächenuntersuchungen in der Regel ausreichend zuverlässig überprüfen. Konnten die ersten beiden Untersuchungsstufen den Verdacht auf das Vorliegen einer Altlast oder einer schädlichen Bodenveränderung jedoch nicht hinreichend bestätigen, sind die Ergebnisse in der Regel bereits im Rahmen der OU durch Grundwasseruntersuchungen zu plausibilisieren bzw. abschließend zu überprüfen. Hierbei sind die örtlichen hydrogeologischen Bedingungen zu berücksichtigen.

Führt auch die Untersuchung des Grundwassers nicht zur hinreichenden Bestätigung einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung, kann der Sprengplatz aus dem Altlastverdacht entlassen werden.

Aufgrund der komplexen Untersuchung und Bewertung von Sprengplätzen wird empfohlen, die entsprechenden Arbeiten an ein in Rüstungsaltslasten erfahrenes Ingenieurbüro zu vergeben. Idealerweise erfolgt die Erstellung des Untersuchungskonzepts, die Durchführung der Probenahmen und die Auswertung der Ergebnisse aus einer Hand, um Informationsverluste zu vermeiden, die für die abschließende Gefährdungsabschätzung des Standorts wichtig sind.

Im Rahmen der Detailuntersuchung (DU) sind vertiefte weitere Untersuchungen nach § 2 Nr. 4 BBodSchV zur abschließenden Gefährdungsabschätzung durchzuführen. Dies beinhaltet neben der Untersuchung aller vorgenannten Verdachtsbereiche, die im Rahmen der OU noch nicht oder noch nicht vollständig erkundet wurden, auch die Abschätzung der möglicherweise durch lose Sprengstoffbrocken generierten Frachten sowie Grundwasseruntersuchungen. Weiterhin ist in der DU abschließend festzustellen, ob Sanierungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 7 BBodSchG oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 8 BBodSchG erforderlich sind.

6 Orientierende Untersuchung (OU)

Zu Beginn einer OU ist zunächst zu überprüfen, inwieweit ausreichende Angaben zu folgenden Grundlagen vorliegen:

- Rekonstruktion der gesprengten Munitionsmengen (Munitionsbilanz)
- Rekonstruktion der Sprengtrichter, der Auswurfzonen und des Streugebiets unter Verwendung von historischen Luftbildern
- Exakte Übertragung der Verdachtsflächen auf digitale Flurkarten mittels GIS.

Nur auf Grundlage dieser Basisinformationen können gezielte Messungen vor Ort erfolgen. Die Orientierende Untersuchung von Sprengplätzen beinhaltet maximal folgende Maßnahmen, die in chronologischer Folge abzuarbeiten sind:

- Ergänzende geomagnetische Flächensondierungen zur Trichterlokalisierung sofern aussagekräftige Luftbilder fehlen
- Aufstellen des ggf. gestuften Untersuchungskonzepts
- Erstellen des Arbeitssicherheitskonzepts
- **Untersuchungsstufe 1:** Durchführen von Feldarbeiten im Bereich der Auswurfzone und der Trichter mit Techniken, die an die spezielle Problematik von Sprengplätzen angepasst sind
- Materialuntersuchungen mit speziell angepassten Methoden
- Sickerwasserprognose für Auswurfzone und Sprengtrichter
- **Untersuchungsstufe 2:** Testfeldsondierungen zur Erkundung von Gefahren aus Kampfmitteln mit offenen Sprengstoffoberflächen im Streugebiet und Sickerwasserprognose
- **Untersuchungsstufe 3:** Bau einer Grundwassermessstelle und mehrmalige Untersuchung des Grundwassers sowie Plausibilitätsprüfung aller Ergebnisse.

Von maßgeblicher Bedeutung für alle Untersuchungsstufen ist die detaillierte **Dokumentation** der durchgeführten Arbeiten, um die Ergebnisse im Rahmen der Gefährdungsabschätzung sowie evtl. späterer Untersuchungsstufen auf Plausibilität prüfen zu können. Die Dokumentation umfasst stets:

- die detaillierte Rekonstruktion und Darstellung der Sprengabläufe einschließlich der Sprengbilanz und der Kategorisierung des Sprengplatzes, da dies neben der Größe des Sprengplatzes und den ermittelten Eluatkonzentrationen wichtige Hilfsmittel bei der Gesamteinstufung eines Platzes darstellen
- die Nachvollziehbarkeit der Trichterlokalisierung
- die exakte planliche Darstellung der Trichter, der Auswurfbereiche und des Streugebiets einschließlich der hierbei verwendeten Kartengrundlagen sowie die Grundlagen für ggf. durchgeführte Georeferenzierungen
- die Beschreibung der Situation im Feld einschließlich der zu erwartenden Kampfmittel
- die Beschreibung der Probenahme, insbesondere Angaben zur Anzahl der entnommenen Teilproben, die Angabe der Rohprobenmenge, der Homogenisierbarkeit des Materials und die Angabe der gebildeten Laborprobenmenge
- Angaben zur Probenaufbereitung im Labor und den verwendeten Analyseverfahren

- die Nachvollziehbarkeit der Berechnung der einzelnen Teilfrachten einschließlich der Transportprognosen
- die Nachvollziehbarkeit der Gefährdungsabschätzung.

6.1 Vorbereitung der OU

6.1.1 Anlegen der Karten und Pläne im GIS

Die Bearbeitung eines Sprengplatzes erfolgt mit Hilfe des Geografischen Informationssystems (GIS). Im GIS werden alle Informationen zusammengeführt, die für eine gezielte Probenahme erforderlich sind und die bei der weiteren Bearbeitung gewonnen werden. Die genaue Dokumentation der GIS-Daten, insbesondere der Karten- und Referenzierungsgrundlagen ist zu empfehlen. Bei auftretenden Diskrepanzen zwischen Plänen und dem Geländebefunden lassen sich damit die Ursachen leichter klären.

Für die Bearbeitung benötigt werden:

- die aktuelle (digitale) Flurstückskarte (DK 1.000)
- Shapefile der Wasserschutzgebiete
- Shapefile der im Umfeld des Sprengplatzes vorhandenen Brunnen
- historische Luftbilder aus dem relevanten Zeitraum (1945 bis 1954, ggf. später) als Abzug oder digital
- falls vorhanden, ein aktuelles Farbluftbild mit Bodenauflösung 0,5 m als Abzug oder digital
- die Spartenpläne.

Ein wesentlicher Teil der Daten kann ggf. auf Anfrage von der jeweiligen Kreisverwaltungsbehörde bzw. dem Wasserwirtschaftsamt zur Verfügung gestellt werden.

Welche Datensätze aus dem RÜVKA-GIS [452] ergänzend in das GIS integriert werden können, ist standortbezogen zu prüfen.

6.1.2 Erstellen der Sprengbilanz

Die eingehende Sichtung und Auswertung vorhandener Unterlagen zum jeweiligen Standort ist die Basis des Untersuchungskonzepts. Hierbei sind folgende Aspekte zu klären bzw. zu beurteilen:

- Ursprung des Sprengplatzes und der gelagerten Munition
- Rekonstruktion der Sprengphasen und Abschätzung der jeweils umgesetzten Mengen
- Kategorisierung des Sprengplatzes (S, M, L, XL)
- falls möglich, Rekonstruktion der vorrangig gesprengten Munitionsarten und Abschätzung des Sprengstoffanteils am Gesamtgewicht
- falls möglich, Abschätzung der Gesamtrückstandsmenge unter Annahme einer Rückstandsquote von 0,1 %
- Lokalisieren der Sprengbereiche.

Hauptziele dieser Auswertungen sind

- die Abschätzung des Gesamtemissionspotenzials, also der Menge, die während der verschiedenen Sprengphasen freigesetzt worden sein kann und

- eine grobe Lagebestimmung des oder der Sprengbereiche.

Mit „**Ursprung eines Platzes**“ ist der ehemalige Typ der Munitionslagerung gemeint (siehe Kap. 2.2). Daraus können sich wichtige Hinweise auf die gelagerten Munitionsarten und die Mengen ergeben. Informationen hierzu finden sich oft in den Unterlagen zu den Übergabeverhandlungen. Auch ein Blick in das nähere Umfeld eines Sprengplatzes (z. B. über das RÜVKA-GIS) kann Anhaltspunkte über den Ursprung liefern, wenn dort weitere militärisch genutzte Flächen (z. B. Einsatz-Häfen) lagen.

Die einzelnen **Sprengphasen** sollten im Regelfall ebenfalls aus den Archivalien ableitbar sein.

Anhaltspunkte für die **Kategorisierung**:

- die ursprünglichen (maximalen) Lagerkapazitäten der Munitionslagereinrichtungen geben Hinweise auf die durch die Wehrmacht oder durch US-Truppen gesprengten Mengen. Sie können allerdings durch Munitionsbewegungen in der Nachkriegszeit überprägt worden sein.
- die monatlichen Demilitarisierungsberichte (vor dem Sprengbefehl) und die Zahlenangaben aus den Sprengplänen (ab dem Zeitpunkt des Sprengbefehls im Oktober 1947) geben Hinweise auf die auf den Standorten der StEG gesprengten Munitionsmengen.
- die Unterlagen der Übergabeverhandlungen in der Aufräumzeit geben Hinweise auf die durch Privatfirmen gesprengten Munitionsmengen.

Als weiteres Merkmal bei dieser Abschätzung können die Anzahl und die Größe der Sprengtrichter herangezogen werden, die auf Luftbildern erkenntlich oder auf Lageplänen verzeichnet sind. Generell gilt, dass die gesprengten Mengen annähernd proportional zur Größe und/oder Anzahl bzw. den Ausmaßen der auf einem Platz entstehenden Trichter sind.

Ein „üblicher“ Trichter von 10 m Durchmesser und 3 bis 4 m Tiefe kann bei sandig-tonigem Untergrund z. B. auf einen Munitionsumsatz von rund 100 t hindeuten.

Beispiel einer Sprengbilanz einer Heeresmunitionsanstalt

Lagermenge vor Kriegsende (Artilleriegranaten)	10.000 t
gesprengt durch Wehrmacht, geschätzt	5.000 t
detonativ umgesetzter Anteil (50%); geschätzt	2.500 t
US-Sprengungen: nicht nachgewiesen	0 t
StEG-Sprengungen unsichere Munition	250 t
StEG-Sprengungen nach Sprengbefehl	750 t
<u>Sprengungen im Zuge der Entmunitionierung</u>	<u>100 t</u>
Gesamt	3.600 t
Sprengstoffanteil (10 %)	360 t
Emissionspotenzial (Rückstandsquote 0,1%)	360 kg

Nach sorgfältiger Wertung aller vorliegenden Informationen kann der Sprengplatz einer der vier Sprengumsatzkategorien (S, M, L, XL) zugeordnet werden. Die Einstufung erlaubt eine erste Abschätzung des Gefährdungspotenzials eines Standortes. Die Sprengplatzkategorie spielt bei der späteren Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse eine wichtige Rolle.

Nach der Abschätzung der Kategorie ist zu prüfen, welche Arten von Munition vernichtet worden sind und ob hieraus ggf. weitere Folgerungen oder Hinweise auf das Kontaminationspotenzial gezogen werden können. Angaben zu den vernichteten **Munitionsarten** finden sich im Regelfall in den Übergabeverhandlungen, in Fundmunitionsmeldungen der Nachkriegszeit oder ggf. in Testsondierungen durch das Innenministerium in der jüngeren Vergangenheit. Informationen zu möglichen Inhaltsstoffen und -mengen sind in **Anhang 1** enthalten. Detailinformationen können der Munitions-Fachliteratur entnommen werden [z. B. **272, 311, 433, 435, 443**].

Bei Artilleriemunition beträgt der Sprengstoffanteil am Gesamtgewicht in der Regel rund 10 %. Bei panzerbrechender Munition ist der Anteil geringer, bei Geschossen vom Minentyp größer (ca. 30%). Bestimmte Munitionstypen enthalten keinen Sprengstoff (nur Pyrotechnika). Unter Berücksichtigung dieser Sachverhalte kann versucht werden, die Menge an umgesetztem Sprengstoff abzuschätzen.

Als mögliche **Rückstandsquote kann 0,1%** der Füllmenge (Summe der mikroskopisch kleinen Rückstände und der Brocken) angenommen werden (vgl. Anhang 2.2). Dieses Vorgehen ermöglicht eine indirekte Abschätzung des Gesamtemissionspotenzials zum Zeitpunkt der Beendigung der Sprengarbeiten. An Hand der Trichteranzahl bzw. der geschätzten Gesamtkubatur der Sprengtrichter ist eine überschlägige Berechnung der in rückverfüllten Sprengtrichtern zu erwartenden Durchschnittskonzentrationen an STV möglich.

Zur **Lokalisierung der Sprengbereiche** können als erste Orientierung die Pläne zum Standort bzw. Pläne der Übergabeverhandlungen aus den 50er Jahren verwendet werden. In vielen Fällen handelt es sich hierbei jedoch nur um Skizzen. Ihre Genauigkeit ist für die Planung der Geländearbeiten nicht ausreichend. Die exakte Lagebestimmung des Platzes und aller Trichter muss daher über eine Luftbildauswertung in einem der folgenden Arbeitsschritte erfolgen. Bei den Protokollen der Übergabeverhandlungen ist zu beachten, dass die Anzahl der Trichter, die im Textteil erwähnt sind, größer sein kann als die auf den Plänen verzeichnete Trichteranzahl. Der Angabe im Text ist generell mehr zu vertrauen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Skizzen aus Übergabeprotokollen nur den letzten Geländestand erfassen. Es kann mehrere Sprengphasen mit verschiedenen Sprengstellen gegeben haben, die sich nicht zwangsläufig decken müssen. In manchen Fällen können den Räumfirmen auch keine Erkenntnisse über Wehrmachts- oder US-Sprengungen vorgelegen haben. Eventuell vorhandene Geländemerkmale aus früheren Sprengungen können bei der damaligen Planerstellung bereits überprüft gewesen sein. Diese Überlegungen sind bei der Erstellung der Sprengbilanz und der Klärung des Ausmaßes eines Platzes geeignet zu berücksichtigen.

6.1.3 Lokalisieren von Sprengfeld und Hauptstreugebiet

Durch das Sichten von Luftbildern aus den relevanten Zeitschnitten sollen

- > Anzahl und Lage der Sprengtrichter exakt rekonstruiert und anschließend
- > die Auswurfzonen sowie das Hauptstreugebiet abgeleitet werden.

Die komplette und exakte Lokalisierung möglichst aller Sprengtrichter ist für gezielte Beprobungen und für die Berechnung der potenziellen Schadstofffrachten erforderlich.

Sind alle Trichter unverfüllt oder an heutigen Geländemerkmale in vollem Umfang rekonstruierbar, so kann die Luftbildauswertung entfallen. Die Aufnahme der Trichter erfolgt dann bei einem Ortstermin mittels DGPS.

Hilfreiche Informationen liefern die ersten Nachkriegsbefliegungen, die auf der Basis der digitalen Flurkarte gescannt und georeferenziert werden. Bei der Auswertung sind die Skizzen und textlichen Erwähnungen der Übergabeverhandlungen und evtl. Auffälligkeiten auf der aktuellen Befliegung (Vegetationsänderungen, Bodenverfärbungen) mit den Trichter-Erkennungsmerkmalen (z. B. rundliche Vertiefungen evtl. Wasser gefüllt; hell reflektierende Auswurfklagen, Baumschäden) auf dem Luftbild abzugleichen. Alle ersichtlichen bzw. ableitbaren Trichter werden dann im GIS exakt abdigitalisiert.

Im nächsten Schritt werden die **Auswurfzonen** bestimmt. Sofern das Luftbild keine abweichenden Informationen enthält kann im Regelfall als Radius für die Auswurfzone der Trichterdurchmesser gewählt werden, wobei ab dem Trichterrand zu messen ist. Bei sehr großen Trichtern (Durchmesser > 30 m) werden zwei Zonen festgelegt, z. B. bis 25 m und 25 bis 50 m. Je nach Anordnung der Trichter können sich die einzelnen Auswurfzonen überlappen. Es kann daher sinnvoll sein, für eine Beprobung mehrere Auswurfbereiche zu Teilflächen zusammenzufassen.

Im dritten Schritt wird das **Hauptstreugebiet** festgesetzt. Es erstreckt sich im Regelfall vom Rand des Sprengfelds bis in eine Entfernung von 500 m.

6.1.4 Ergänzende geomagnetische Flächensondierungen

Bei Standorten ohne aussagekräftige Luftbilder müssen ergänzend computergestützte geomagnetische Flächensondierungen zur Lokalisierung von Sprengfeld und Trichtern durchgeführt werden, da ohne Kenntnis von Anzahl und Ausdehnung der Sprengtrichter keine Gefährdungsabschätzung möglich ist.

Hierzu müssen zunächst die Pläne der Übergabeverhandlungen an Hand der Flurkarte georeferenziert werden. Der Verdachtsbereich wird abdigitalisiert und als Shapefile auf die aktuelle Flurkarte oder auf das aktuelle Luftbild übertragen. Diese Informationen stellen die Grundlage für die Fachfirma dar.

Derzeit sind computergestützte geomagnetische Flächensondierungen das einzige Verfahren, das für diese Aufgabenstellung ausreichend geeignete Ergebnisse liefert (vgl. Anhang 2.5). Bei den geomagnetischen Messungen sollte eine Spurbreite von 0,5 m nicht überschritten werden. Je nach Gelände- verhältnissen können Einkanalssysteme (im Wald) oder Mehrkanalsysteme (auf landwirtschaftlichen Nutzflächen) eingesetzt werden.

Der Ergebnisbericht der Fachfirma muss folgende Kernpunkte enthalten:

- die Dokumentation der durchgeführten Arbeiten und der verwendeten Geräte,
- die Darstellung der angewendeten Methodik und des Auswerte-Modus',
- die Interpretation der Messwerte,
- Erläuterungen zum Interpretationsansatz,
- einen farbigen Plan mit Anzahl, Lage und Durchmesser der vermuteten Sprengtrichter,
- die Geomagnetik-Messwerte als georeferenzierter Tif-Datei (Raumdaten),
- die Auswerte-Ergebnisse als Shapefile.

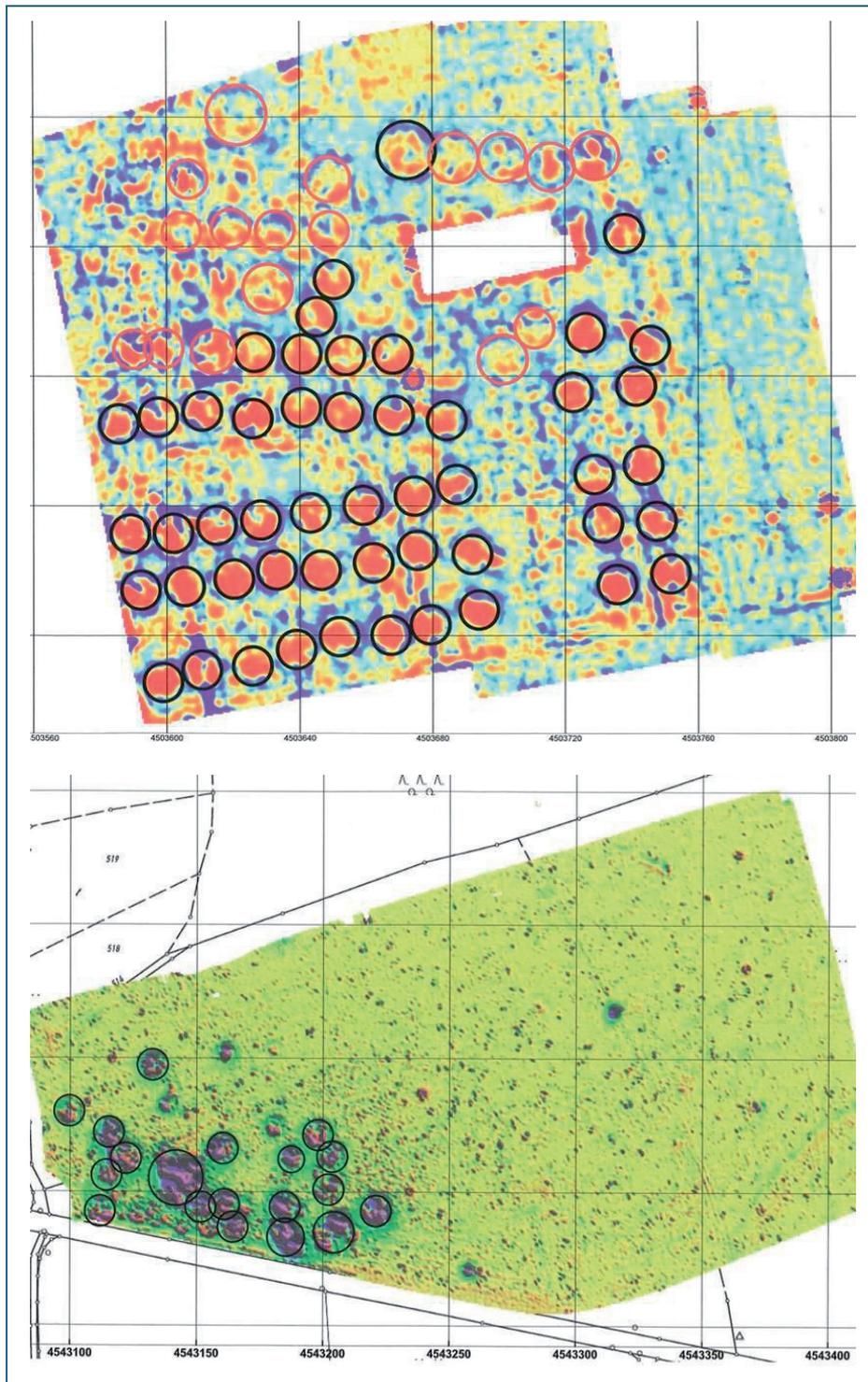


Abb. 29:
Rekonstruktion von Sprengtrichtern mittels computergestützter geomagnetischer Flächensondierungen auf zwei unterschiedlichen Standorten. Die Rasterweite beträgt jeweils 50 x 50 m. In beiden Fällen zeichnen sich die Trichter durch im Vergleich zum Umfeld höhere magnetische Flussdichten aus.

Das Shapefile mit den vermuteten Trichterumrissen wird dann in das GIS geladen. Im Anschluss werden analog zur Vorgehensweise bei der Luftbildauswertung die Auswurfbereiche und das Hauptstreu-
gebiet festgelegt.

6.1.5 Probenahmeplan

Für die geplanten Untersuchungen wird zunächst die Kartengrundlage für die Feldarbeiten – der Probenahmeplan – erstellt. Zur einfacheren Orientierung kann es sinnvoll sein, zwei Versionen zu erstellen:

- Version 1 verwendet das historische Luftbild (falls vorhanden) als Grundlage und überlagert dieses durch die aktuelle (transparent geschaltete) Flurstückskarte sowie durch die Shapes „Trichter“, „Auswurfbereich(e)“ und „Hauptstreugebiet“.
- Version 2 basiert auf einem aktuellen Luftbild und überlagert dieses durch die (transparent geschaltete) aktuelle Flurstückskarte und durch die Shapes „Trichter“, „Auswurfbereich(e)“ und „Hauptstreugebiet“.

Auf den Plänen sind die Kartengrundlagen mit Datum und ursprünglichem Maßstab sowie die Referenzierungsgrundlagen für das historische Luftbild zu vermerken.

Die beiden nachfolgenden Abbildungen enthalten exemplarische Beispiele für Probenahmepläne und die Anordnung von Oberflächenmischproben.

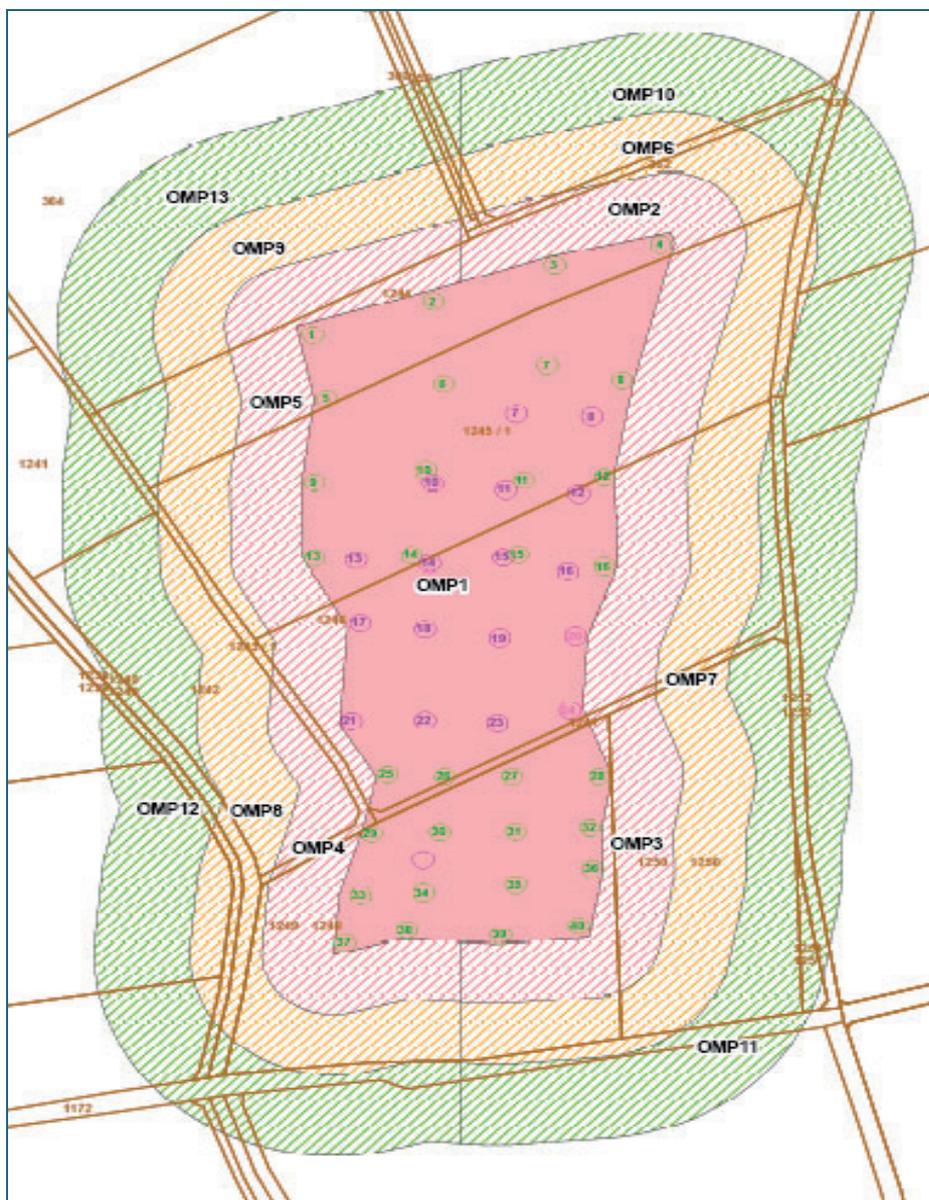


Abb. 30:
Probenahmeplan eines
ehem. US-Spreng-
platzes (Modellstandort
MF; Kategorie L;
OMP = Oberflächen-
mischprobe)

Bei dem in Abb. 30 dargestellten Standort war kein Luftbild vorhanden. Der damalige Plan zur Übergabeverhandlung (Entmunitionierungsplan), auf dem 40 Sprengtrichter verzeichnet sind, vermittelte

jedoch einen so genauen Eindruck, dass der Plan nach Georeferenzierung als Grundlage für den Trichter-Shape verwendet wurde. Auf ergänzende geomagnetische Flächensondierungen wurde in diesem Fall – trotz fehlender historischer Luftbilder – verzichtet. Für den Probenahmeplan wurde die aktuelle Flurstückskarte mit den Shapes „Trichter“ und „Auswurfbereich“ überlagert. Um die Ausdehnung von Resten ehemaliger Auswurfmassen modellhaft zu erkunden, wurden bei diesem Standort drei Auswurfzonen festgelegt (0 - 20 m, 20 - 40 m und 40 - 100 m) und jeweils beprobungstechnisch geviertelt. Das Trichterfeld selbst stellte eine gesonderte Bodenprobe dar. Der auf Basis des Entmünitionierungsplans erstellte Trichter-Shape erwies sich bei den Feldarbeiten jedoch als nicht hinreichend genau. Einige der für die Beprobung ausgewählten Trichter wurden erst nach einigen Stunden Probeschürfen gefunden.

Für den Standort SD (Abb. 31) fehlten ebenfalls aussagekräftige Luftbilder. Die beiden vorhandenen Lagepläne zur Übergabeverhandlung (Entmünitionierungspläne), wurden nach der Georeferenzierung im GIS überlagert. Dabei zeigte sich ein deutlicher Unterschied in Lage und Anzahl der Trichter (in der Abbildung lila und braun dargestellt). Ein Sprengfeld im klassischen Sinn war nicht vorhanden. Die Wahl der zu öffnenden Sprengtrichter wurde daher zum Teil auf der Grundlage der ergänzend durchgeführten geomagnetischen Flächensondierungen getroffen (blaue Punkte), die jedoch nicht flächendeckend vorgenommen wurden.

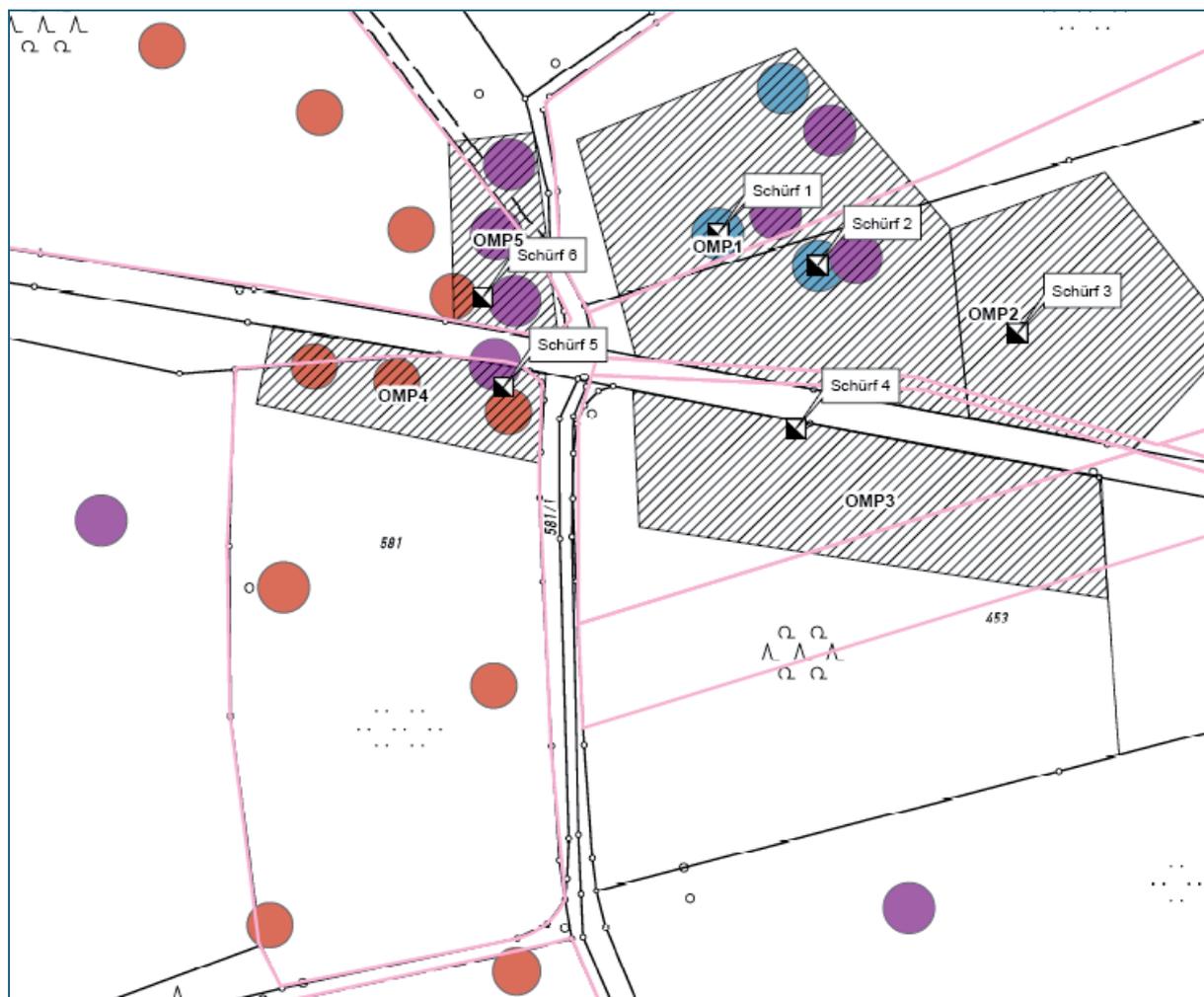


Abb. 31: Probenahmeplan des Standorts SD. (Kategorie M; OMP = Oberflächenmischprobe)

Die Schürfe, die auf der Grundlage geomagnetischer Flächensondierungen positioniert wurden, trafen jeweils schon beim ersten Eingriff rückverfüllte Sprengtrichter an. Bei den Schürfen, die auf Grundlage der georeferenzierten Entmunitionierungspläne vorgenommen wurden, war zum Auffinden des Sprengtrichters ein mehrmaliges Versetzen der Schurfstellen erforderlich.

Bei diesem Standort wurden die Auswurfbereiche mehrerer Trichter bei der Bildung von Oberflächenmischproben (OMP) zusammengefasst.

Beide Standorte zeigen, dass die Entmunitionierungspläne aus den 50er Jahren nicht zur Lokalisierung von Sprengtrichtern geeignet sind.

6.1.6 Arbeitssicherheitskonzept

Vor Beginn der Feldarbeiten muss durch das Fachbüro ein Arbeitssicherheitskonzept erstellt werden. Im Folgenden werden Hilfestellungen bei der Beurteilung der Gefährdungen und bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen gegeben.

6.1.6.1 Gesetzliche Grundlagen

Nach § 5 Arbeitsschutzgesetz hat der Arbeitgeber durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind. Bei der Erkundung eines Sprengplatzes können vorrangig Gefährdungen auftreten durch

- unzureichende Qualifikation der Beschäftigten,
- chemische Einwirkungen (aus Kontaminationen des Untergrunds) und
- physikalische Einwirkungen (Detonation von Kampfmitteln).

Die Gefährdungen, die von Kampfmitteln oder der Kontamination des Untergrunds ausgehen, fallen in den Verantwortungsbereich des Auftraggebers. Daraus ergeben sich für ihn besondere Mitwirkungspflichten in Form von Informations- und Schutzpflichten. Neben den vertragsrechtlichen Verpflichtungen, wie VOB, DIN ATV 18299 oder ATV „Bohrarbeiten“, die auch den Arbeitsschutz betreffen, ergeben sich Mitwirkungspflichten des Auftraggebers im Wesentlichen aus der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) in Verbindung mit der TRGS 524 „Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen“ bzw. der BGR 128 „Kontaminierte Bereiche“. Nach § 17 Abs. 3 GefStoffV müssen Arbeitgeber, Auftraggeber und Auftragnehmer bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung zusammenwirken und sich abstimmen. Dies betrifft u. a. die Auswahl der relevanten Stoffe und Verfahren sowie die Festlegung und Durchführung der erforderlichen Schutzmaßnahmen. Die Ergebnisse der gemeinsamen Gefährdungsbeurteilung sind von allen Beteiligten zu dokumentieren. Die BGR 128 fordert diesbezüglich vom Auftraggeber, einen „Arbeits- und Sicherheitsplan“ zu erstellen bzw. von einem Planer erstellen zu lassen, der

- die vorhandenen Kenntnisse zu vermuteten oder vorhandenen Stoffen zusammenfasst und die von den Stoffen ausgehenden Gefahren ermittelt,
- auf der Grundlage der Arbeitsverfahren eine Gefährdungsbeurteilung durchführt und
- die zu treffenden Schutzmaßnahmen beschreibt.

Die Mitwirkungspflichten des Auftraggebers bei Gefährdungen durch Kampfmittel sind analog zu den chemischen Gefährdungen aus dem kontaminierten Untergrund zu behandeln. Trotz der mit dem Arbeits- und Sicherheitsplan vorhandenen Vorleistung des Auftraggebers bleibt der Auftragnehmer primär verantwortlich für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz seiner Beschäftigten. In diesem Sinne hat er den Arbeits- und Sicherheitsplan auf Stimmigkeit zu prüfen, seine eigene Gefährdungsbeurteilung durchzuführen und die Schutzmaßnahmen verbindlich festzulegen.

Die drei Gefährdungen bei der Erkundung von Sprengplätzen sind wie folgt zu beurteilen:

6.1.6.2 Gefährdung durch unzureichende Qualifikation

Die größten Gefährdungen entstehen, wenn eine oder mehrere Personen, die mit der Planung und Ausführung der Erkundung beauftragt sind, nicht über die nötigen Kenntnisse der Gefahren beim Umgang mit Munition und Sprengstoffen verfügen. Der Sachverständige, der für die Beurteilung des Gefährdungspotenzials eines Sprengplatzes verantwortlich ist, sollte über Erfahrungen bei der Bearbeitung von Sprengplätzen und über munitionstechnische Grundkenntnisse verfügen. Darüber hinaus ist das Arbeitssicherheitskonzept mit der munitionstechnischen Fachfirma, welche die Probenahmen betreut, im Vorgriff der Feldarbeiten abzustimmen. Durch die Zusammenarbeit der beiden Fachbereiche lassen sich Gefährdungen durch mangelnde Qualifikation ausschließen.

6.1.6.3 Gefährdung durch chemische Einwirkungen

Bei der massendetonativen Umsetzung von Munition sind Rückstände an sprengstoff- bzw. pulvertypischen Stoffen im Boden verblieben. Dies sind im Wesentlichen

- Sprengstoffe, vorrangig TNT und dessen Abbauprodukte (ADNT) sowie Hexogen und
- untergeordnet Zusätze zu Treibladungsmitteln, im wesentlichen DNT, Sprengöle (Ngl, DEGDN), Phthalate und Stabilisatoren (Diphenylamin).

Die größte toxikologische Bedeutung kommt dem TNT zu. Phthalate und Stabilisatoren sind deutlich geringer toxisch und liegen in der Regel nur in niedrigen, nicht gesundheitsgefährdenden Konzentrationen vor. PAK und Schwermetalle sind auf Sprengplätzen nur von untergeordneter Bedeutung.

Prinzipiell kann eine Gefährdung bei Kontakt mit der Haut (dermale Aufnahme), bei Verschlucken von kontaminiertem Erdreich (orale Aufnahme) und bei Einatmung von belasteten Stäuben (inhalative Aufnahme) bestehen. Das Auftreten gesundheitsschädlicher Gase ist auf Grund der Stoffeigenschaften dagegen im Regelfall auszuschließen. Staubentwicklung tritt im Rahmen der Untersuchungen in der Regel nicht auf, so dass bei der Beurteilung der Gefährdung die **dermale Aufnahme** im Vordergrund steht.

Zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung bieten die Prüfwert-Vorschläge [455] für Sprengstofftypische Verbindungen für den Pfad Boden – Mensch einen Anhaltspunkt. Sie gelten für flächige Belastungen. Für die sensibelste Nutzung „Kinderspielflächen“ liegen die Prüfwerte bei 100 mg/kg für Hexogen und bei 20 mg/kg für TNT sowie dessen Abbauprodukte (ADNT). Diese Größenordnungen werden - abgesehen von punktuellen Belastungen durch Sprengstoffbrocken - auf Sprengplätzen „in der Fläche“ im Regelfall bei weitem nicht erreicht. Darüber hinaus stellen auch (wiederholte) Probenahmen eine extrem kurzzeitige Exposition dar. Die rechnerisch tolerablen Konzentrationen erhöhen sich dadurch entsprechend der jeweiligen Probenahmedauer.

Hieraus ist abzuleiten, dass auf Sprengplätzen die **Gefährdung der Probenehmer** durch Schadstoffe bzw. **chemische Einwirkungen** sehr **gering** ist.

6.1.6.4 Gefährdung durch physikalische Einwirkungen

Bei Massensprengungen wurde stets ein erheblicher Teil der Munition in nicht initiiertem Zustand entweder fort geschleudert – je nach Kaliber, Bewuchs und Morphologie des Umfeldes sind Flugweiten bis über 1.000 m möglich – oder in den Untergrund der Trichter gedrückt. Die bisherigen Erfahrungen auf Sprengplätzen zeigen, dass trotz der Entmunitionierungen in den Nachkriegsjahren sowohl im Streugebiet als auch in den Trichtern Kampfmittel verblieben sein können. Innerhalb der Trichter ist die höchste Fundwahrscheinlichkeit am Trichtergrund gegeben. Kampfmittel im Rückverfüllmaterial sind (in Bayern) selten.

Im Rahmen der Erkundung eines Sprengplatzes müssen die Schürfe zur optimalen Erfassung der Kontaminationen direkt in den Trichtern platziert werden. **Eine geomagnetische Freimessung der Ansatzstellen – im Sinne einer Prognose der Kampfmittelfreiheit – ist aus messtechnischen Gründen nicht möglich.** Da „Freimessungen“ in tieferen Bodenbereichen auf sehr hoher Empfindlichkeitsstufe erfolgen müssen, beeinflussen in der Regel Munitionssplinter im Trichter die Messung, so dass keine Freigabe über die gesamte Trichtertiefe möglich ist!

Auch nach über 60 Jahren im Boden haben sich die charakteristischen Parameter der Sprengstofffüllungen (Schlag- und Reibeempfindlichkeit, thermische Stabilität, chemische Zusammensetzung, Schmelzpunkt und Detonationsgeschwindigkeit) nicht wesentlich verändert [438]. Es ist daher davon auszugehen, dass die Sprengstoffe noch detonationsfähig sind. Die Kampfmittel werden durch fortschreitende Korrosion der Zündsysteme zunehmend gefährlicher.

Im Zuge der Erkundung eines Sprengplatzes angetroffene Kampfmittel sind daher generell als nicht handhabungs- und transportsicher einzustufen. Sie können von Fachkundigen jedoch für handhabungsfähig bzw. transportfähig erklärt werden. Dies trifft für den wesentlichen Teil der auf Sprengplätzen üblichen Fundmunition zu.

Die Gefährdung durch **physikalische Einwirkungen** aus einer möglichen Detonation von blind gegangenen Kampfmitteln ist wesentlich kritischer zu bewerten als die Gefährdung durch chemische Einwirkungen.

6.1.6.5 Munitionsanalyse und Detonationsmöglichkeit

Sicherheitstechnische Regelwerke oder Vorschriften für die umwelttechnische Erkundung von Sprengplätzen gibt es derzeit nicht. Die im Jahr 2007 erschienene BGI 833 „*Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen bei der Kampfmittelräumung*“ [456] gilt für das (gezielte) Aufsuchen und Bergen von Kampfmitteln und ist daher nicht direkt auf die technische Erkundung eines Sprengplatzes anzuwenden. Für die Erkundungsarbeiten auf Sprengplätzen sind jedoch einige prinzipielle Überlegungen aus dem Regelwerk anwendbar:

Für die Gefährdungsbeurteilung bei einer Kampfmittelräumung ist nach BGI 833 zunächst eine Munitionsanalyse vorzunehmen und hierauf aufbauend die Detonationswahrscheinlichkeit abzuschätzen. Danach richten sich die zu treffenden Sicherheitsmaßnahmen. Diese Vorgehensweise ist auch im Rahmen der OU und DU bei der Erkundung von Sprengplätzen aus Sicherheitsgründen zu empfehlen.

Bei der **Munitionsanalyse** sind die Standortunterlagen zunächst dahingehend auszuwerten,

- welche Kaliber und welche Kampfmitteltypen auf dem zu erkundenden Sprengplatz zu erwarten sind.

Des Weiteren muss auf der Grundlage der Archivalien prognostiziert werden,

- in welchem Fertigungs- bzw. Sicherheitszustand sich die Kampfmittel vermutlich befinden werden (bezündert, unbezündert, Art der Zündsysteme, evtl. frühere Unfälle bei Räumarbeiten).

Daraus ist entsprechend den Vorgaben der BGI 833 die Detonationswahrscheinlichkeit abzuschätzen. Da dies aus prinzipiellen Gründen streng genommen nicht möglich ist, kann lediglich die generelle **Detonationsmöglichkeit eines bestimmten Munitionstyps unter den bei einer Probenahme üblicherweise gegebenen Bedingungen** beurteilt werden.

Grundsätzlich kann unterschieden werden,

- ob die Möglichkeit einer Selbstdetonation oder

➤ die Möglichkeit der Detonation durch Fremdeinwirkung besteht.

Die nachfolgenden Informationen sollen dazu dienen, eine erste Bewertung der in den Archivalien enthaltenen Munitionsinformationen vornehmen zu können. **Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass diese Informationen nicht für die Bewertung der Kampfmittel vor Ort durch das Ingenieurbüro zu verwenden sind. Die Bewertung der Kampfmittel darf grundsätzlich nur durch den betreuenden Munitionsfachkundigen erfolgen.**

Selbstdetonation ist bisher nur bei feindlicher Abwurfmunition mit chemischen Langzeitzündern beobachtet worden. Diese ist auf Sprengplätzen im Regelfall auszuschließen.



Abb. 32: Große Gewehrpanzergranate 40 mm (GGP). Der Zünder enthält nur eine schwache Distanzfeder. Ein Blindgänger ist nicht als solcher zu erkennen, da die eingeschnittenen Führungsbänder für die Drallaufnahme im Schießbecher serienmäßig vorhanden sind.



Abb. 33: Panzerfäuste 60. Der Zünder befindet sich im Trichter. Die ballistische Haube bildet nur einen relativ geringen Schutz gegen mechanische Einwirkungen.

Die Spannbreite der „**Fremdeinwirkung**“ ist groß und kann vom geringfügigen Verlagern bzw. Bewegen des Kampfmittels bis zur direkten mechanischen (Schlag-)Beanspruchung des Zünders bzw. Zünderbereichs reichen. Beim Schürfen mittels Bagger treten jedoch eher drückende als schlagende Kräfte auf.



Abb. 34: 8,8 cm Raketenpanzergranate 4312 (Püppchen), die mit dem „Ofenrohr“ verschossen wurde. Der eingebaute Aufschlagzünder AZ 5095 gilt bei fehlendem Vorstecker als sensibel gegenüber mechanischen Einwirkungen, da er nur eine schwache Distanzfeder besitzt.



Abb. 35: 8,8 cm Panzergranate, ausgestattet mit dem sensiblen (vorgespannten) Aufschlagzünder 5127.

Ein relativ geringes Gefahrenmoment geht von **unbezünderten Kampfmitteln** aus, die durch übliche mechanische Fremdeinwirkungen, wie sie bei der Probenahme bzw. beim Schürfen auftreten, im Grunde nicht zur Detonation gebracht werden können. Bei nicht mehr vorhandenen Zündern (infolge fortgeschrittener Korrosion oder durch die Sprengung verursacht) kann dagegen möglicherweise die Sprengkapsel frei liegen. Es besteht die Gefahr einer Detonation durch mechanische Einwirkung.

Bei **bezünderten Kampfmitteln** kommt es auf die Art des Zündsystems an. Ein wesentlicher Teil der früheren Zündsysteme der Wehrmacht wird heute von Fachkundigen als „handhabungsfähig“, d. h. transportfähig eingestuft, auch wenn das Zündsystem einer Sprengung ausgesetzt war. Das bedeutet, dass bei diesen Kampfmitteln im Regelfall eine größere mechanische Energie direkt auf den Zünder einwirken müsste, um die Zündkette zu initiieren. Dies ist bei „regulärer Handhabung“ der Kampfmittel nicht der Fall.

Die Detonationsgefahr bezündeter Kampfmittel kann sich jedoch deutlich erhöhen bei

- stark beschädigten Zündern
- Initialzündsystemen mit hohem Korrosionsgrad und offen liegenden reibungs- und schlagempfindlichen Initialsprengstoffen
- bei Zündern, die auf Grund ihres Bauprinzips relativ sensibel gegenüber mechanischen Beanspruchungen sind. Hierzu gehören z. B. Kampfmittel mit Zündsystemen, die nur schwache Abstandsfedern haben, bei welchen zusätzlich die Sicherheitsvorkehrungen wie Vorstecker fehlen oder durchkorrodiert sind und/oder deren Zündeinrichtungen vom Bauprinzip her nur gering gegen mechanische Einwirkungen geschützt sind.

Bei diesen Munitionstypen ist eine Detonation bei Eingriffen ins Erdreich nicht auszuschließen.

Einige wenige Zündsysteme der Wehrmacht werden (bei Blindgängern bzw. bei Kampfmitteln, die einer Sprengung ausgesetzt waren) generell als **handhabungsunsicher** eingestuft, da sie die Energie zur Auslösung bereits in sich tragen, z. B. durch vorgespannte Schlagbolzen. Aufgrund der Sprengwirkung oder der u. U. fortgeschrittenen Korrosionsgrades können die Sicherheitseinrichtungen dieser Munitionstypen bereits bei geringen mechanischen Einwirkungen versagen. Bei diesen Munitionstypen ist generell von einer (erhöhten) Detonationsmöglichkeit bei einem Eingriff ins Erdreich auszugehen. Zu diesen Munitionstypen, die im Regelfall als nicht transportfähig oder als sensibel gegenüber mechanischen Beanspruchungen eingestuft werden, zählen z. B. (blind gegangene bzw. „angesprengte“) 8,8 cm Panzergranaten, Handgranate Breda (Italien), deutsche Gewehr- und Panzerfaustgranaten, Granaten mit Doppelzünder (S30, S60), SD1, SD2 und bezünderte (verlegte bzw. „scharf gemachte“) Riegelminen.



Abb. 36:
8,8 cm Raketenpanzerbuchsgranate 4322 (RPzBGr). Auch hier ist das Zündsystem sensibel gegen mechanische Beanspruchungen.



Abb. 37: SD50-Bombe (D, 2.WK) mit Ausblühungen von Pikrinsäure im Bereich des Zünders (gelb). Zum Aufsaugen der Ausschwitzungen wurde ein Tuch in die Mundlochbuchse eingeführt (blau).



Abb. 38: Blindgegangene Gewehrgranaten 30. Sie haben nur schwache Distanzfedern.

Als ebenfalls sensibel gelten Kampfmittel mit **Füllungen** oder Teilfüllungen aus Pikrinsäure (Grf. 88). Diese können insbesondere auf Standorten mit Munition aus dem 1. Weltkrieg und in Beutemunition eine Rolle spielen. Pikrinsäure kann bei fehlerhaften Ladungen nach Kontakt mit Metallen (z. B. der Munitionshülle) äußerst schlagempfindliche Pikrate bilden. In diesen Fällen ist eine Detonationsmöglichkeit bei Eingriffen ins Erdreich gegeben.

Aktuelle Untersuchungen [438] belegen, dass die Schlagempfindlichkeit von **losem TNT** (bzw. TNT-Brocken, wie sie auf Sprengplätzen angetroffen werden können) im Vergleich zu technisch reinem TNT um das fünffache zunimmt, wenn der Sprengstoff Kontakt zum umliegenden Boden (Sand) hat. Insgesamt liegen die Schlagempfindlichkeiten jedoch in einer Größenordnung, bei welcher ein Transport noch zulässig ist. Mechanische Beanspruchungen, wie sie bei landwirtschaftlichen Arbeiten oder beim Straßenbau bzw. auch bei der Bearbeitung des Bodens mittels Spaten oder Hacke auftreten, können theoretisch bereits zur Initiierung von Brocken führen. Bisher ist allerdings kein derartiger Fall bekannt geworden.

Unter Berücksichtigung der geschilderten munitions- bzw. sprengstofftechnischen Gegebenheiten und den üblicherweise bei der Beprobung eines Sprengplatzes auftretenden Beanspruchungen ist zusammenfassend festzustellen, dass bei Eingriffen ins Erdreich mittels Bagger die generelle Möglichkeit einer Initiierung von Kampfmitteln im Untergrund nicht ausgeschlossen werden kann.

Eine erhöhte Detonationsmöglichkeit besteht bei handhabungsunsicheren Kampfmitteln sowie bei Kampfmitteln, die sensibel gegenüber mechanischen Beanspruchungen oder Reibung sind.

Bei handhabungsfähigen Kampfmitteln ist die Detonationsmöglichkeit gering, jedoch nicht mit letzter Sicherheit auszuschließen, da zündinitierende Einwirkungen auf die Zündsysteme beim Eingriff ins Erdreich nicht gänzlich unmöglich sind.

In gewissem Gegensatz zu den o. g. Detonationsmöglichkeiten steht die Tatsache, dass bei vielen Räummaßnahmen auf Sprengplätzen als Räumverfahren ein Aushub mit Separierung zur Anwendung kommt. Die hier insbesondere in den Separieranlagen auftretenden mechanischen Schlagbeanspruchungen der Kampfmittel sind sicherlich größer einzuschätzen als die beim Schürfen auftretenden Beanspruchungen. Bisher sind jedoch keine Detonationen oder Unfälle mit Separieranlagen bekannt geworden.



Abb. 39: 7,5 cm Sprenggranate. In der Mundlochbuchse haben sich Kupferoxide gebildet, die schlag- bzw. reibungsempfindlich sein können.



Abb. 40: 2 cm Granaten (Bordwaffenmunition) mit stark korrodierten Aluminium-Zündern.

Generell gilt für Schürfe auf Sprengplätzen folgender Grundgedanke:

Werden basierend auf der Munitionsanalyse für **handhabungsfähig deklarierbare** Kampfmittel oder gegenüber mechanischen Beanspruchungen nicht sensible Kampfmittel erwartet, so kann der Sprengplatz unter Einhaltung bestimmter Sicherheitsmaßnahmen durch Schürfe erkundet werden.

Werden dagegen **handhabungsunfähige Kampfmittel** erwartet, so muss der Sachverständige zusammen mit dem Munitionsfachkundigen im Einzelfall entscheiden, ob die schürftechnische Erkundung des Platzes generell möglich ist. Ggf. kann die Gefährdung durch eine Modifizierung der Probenahme oder durch angepasste Sicherheitsvorkehrungen reduziert werden.

Bei Probenahmeverfahren wie z. B. dem Eindrücken des Bohrstocks oder dem vorsichtigen Einstechen des Spatens treten sehr geringere mechanische Beanspruchungen auf. Die Explosionswahrscheinlichkeit ist hier sehr gering, wenn auch nach [438] nicht ganz auszuschließen.

6.1.6.6 Festlegung des Gefahrenbereichs

Auf Basis der Munitionsanalyse ist in Abstimmung mit der betreuenden munitionstechnischen Fachaufsicht der Radius des Gefahrenbereichs festzulegen, der bei den Schürfarbeiten abzusperren bzw. zu evakuieren ist. Die Größe des Gefahrenbereichs richtet sich nach

- der ermittelten Detonationsmöglichkeit,
- der zu erwartenden maximalen Kalibergröße (bzw. der zu erwartenden Nettoexplosivstoffmenge),
- der zu erwartenden Fundtiefe,
- der Geländemorphologie,
- den vorhandenen natürlichen Schutzbedingungen und
- ggf. nach der Bebauung.

Die größten Kräfte sind beim Schürfen im Bereich der Trichterbasis zu erwarten. In dieser Tiefe wirkt das umgebende Erdreich als Dämmung. Die Größe des Gefahrenbereichs ist in der Regel zwischen Sichtbereich und einer Entfernung von 500 m vom Zentralbereich anzusetzen.



Abb. 41: Sicherheitsbereich mit Position der Absperrungen. [Digitales Orthofoto (NW06437, NW06337)
Gemeinde: Illesheim, Gemarkung: Westheim; Stand 2008]

Im Bedarfsfall kann der Gefahrenbereich auch gestuft angesetzt werden. In diesem Fall liegt der Größe des Gefahrenbereichs nicht die maximal anzunehmende Kalibergröße zu Grunde, sondern die Kalibergröße, die nach der Munitionsanalyse am wahrscheinlichsten auftreten wird. Werden im Zuge der Erkundung größere Kampfmittelkaliber als erwartet aufgefunden, ist der Gefahrenbereich entsprechend anzupassen. Gestaltet sich die Ausweisung schwierig, ist zu prüfen, inwieweit Wirkungsdämpfungsmaßnahmen möglich sind.

Die zuständige Gemeinde ist über den ausgewiesenen Gefahrenbereich in Kenntnis zu setzen. Ihr obliegt die Gesamtspernung des Verkehrs einschließlich des Fußgängerverkehrs. Sie übernimmt die Aufstellung der Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen. Bei Waldwegen wird eine Absperrung mit Trassierungsband und das Aufstellen entsprechender Warntafeln empfohlen.

6.1.6.7 Schutzmaßnahmen

Die Planung und Ausführung der Erkundungsarbeiten auf einem Sprengplatz muss so erfolgen, dass eine Gefährdung der Beschäftigten durch physikalische und chemische Einwirkungen sowie durch unzureichende Qualifikation vermieden und die verbleibende Gefährdung möglichst gering gehalten

wird. Zur Minimierung der Gefahren sind folgende Schutzmaßnahmen zu empfehlen:

Schutzmaßnahmen gegen mangelnde Qualifikation

- Der ausführende Sachverständige sollte über munitionstechnische Grundkenntnisse verfügen.
- Der Sachverständige erstellt in enger Abstimmung mit der betreuenden munitionstechnischen Fachfirma vor Beginn der Probenahme das Arbeitssicherheitskonzept.
- Die Fachaufsicht trägt die munitionstechnische Verantwortung auf der Baustelle („Verantwortliche Person gem. § 19 Abs. 1 Nr. 3 Sprengstoffgesetz“).
- Unter „munitionstechnischer Fachaufsicht“ ist der Inhaber eines Befähigungsscheins gemäß § 20 Sprengstoffgesetz für das Aufsuchen, Identifizieren und Bergen von Kampfmitteln zu verstehen.
- Die Fachaufsicht muss über Erfahrungen mit den zu erwartenden Kampfmitteltypen verfügen. Entsprechende Nachweise von Lehrgängen sind vorzulegen.
- Der Geräteführer muss über Erfahrungen bei der Beschürfung von Sprengtrichtern verfügen. Entsprechende Referenzen sind vorzulegen.
- Der Projektleiter (Sachverständige), die munitionstechnische Fachaufsicht und der Geräteführer sind als Ersthelfer ausgebildet.
- Entsprechende Unfall-Meldeeinrichtungen (Handy, Funk) müssen vorhanden und einsatzbereit sein.
- Mit der Erkundung dürfen nicht betraut werden: Personen unter 18 Jahren, Personen, die abhängig von Alkohol oder anderen berauschenden Mitteln, psychisch krank oder debil sind, Personen, die die körperliche Eignung nicht besitzen und Personen, bei denen anzunehmen ist, dass ihre persönliche Zuverlässigkeit nicht gegeben ist. Dies betrifft sowohl die technische Probenahme als auch die begleitende munitionstechnische Fachaufsicht.

Schutzmaßnahmen – Detonationsgefahr

- Für die Schürfarbeiten ist ein Sicherheitsbereich auszuweisen. Die Größe basiert auf der Munitionsanalyse des Sachverständigen in Abstimmung mit der munitionstechnischen Fachaufsicht.
- Der Sicherheitsbereich ist für die Dauer der Schürfe durch die zuständige Straßenverkehrsbehörde für den Verkehr und den Fußgängerverkehr zu sperren. Die Beschilderung bzw. Kennzeichnung mit entsprechenden Warntafeln ist mit der zuständigen Gemeinde abzustimmen.
- Die Schürfarbeiten sind durchgehend von der munitionstechnischen Fachaufsicht mit Befähigungsschein gemäß § 20 Sprengstoffgesetz zu begleiten („Verantwortliche Person gem. § 19 Abs. 1 Nr. 3 Sprengstoffgesetz“).
- Der für die Schürfarbeiten eingesetzte Bagger muss mit einer Zusatzscheibe aus Panzerglas (Sprengwirkungshemmende Verglasung nach DIN EN 13541 Widerstandsklasse D3 – ER4) ausgestattet sein.
- Sowohl die Fachaufsicht als auch der Probenehmer haben bei den Schürfarbeiten Splitterschutzwesten und -helme zu tragen. Diese Maßnahme kann nach Absprache mit der munitionstechnischen Fachaufsicht erst ab dem Zeitpunkt verpflichtend werden, zu dem Kampfmittel angetroffen werden, bei denen eine Detonationsmöglichkeit besteht.
- Der Eingriff in die Verdachtsstellen ist mit größtmöglicher Vorsicht durchzuführen, mechanische

(schlagende) Energieeinträge sind so gering wie möglich zu halten.

- Die Fachaufsicht darf sich nur am Schurf aufhalten, wenn der munitionstechnische Sicherheitsaspekt zu beurteilen ist. Ist diese Beurteilung beim Eingriff in den Untergrund erforderlich, so nutzt die Fachaufsicht die Schutzwirkung der Baggerschaufel indem sie eine Position hinter und nicht seitlich der Baggerschaufel wählt. Generell sollte sich die Fachaufsichtsperson, insbesondere im Moment des Eingriffs ins Erdreich, hinter dem Bagger befinden.
- Treten handhabungsunsichere oder gegenüber mechanischen Beanspruchungen sensible Kampfmittel auf, so ist von der munitionstechnischen Fachaufsicht zu prüfen, ob die Schürfarbeiten an dieser Stelle eingestellt werden müssen. In jedem Fall ist das Sprengkommando bzw. der staatliche Kampfmittelbeseitigungsdienst zu verständigen.
- Nähern sich trotz Absperrung unerwartet Unbefugte der Schurfstelle, so sind die Arbeiten zu unterbrechen.
- Tritt bei den Schürfarbeiten eine höhere, zuvor nicht bekannte Gefahrenlage ein (z. B. beim Antreffen von nicht initiierten Munitionsstapeln), sind Vorgehensweise und ggf. Sicherheitsbereich geeignet anzupassen.
- Der Projektleiter (Sachverständige) beurteilt die Schürfe hinsichtlich eventueller Kontaminationen und führt die Beprobungen durch. Er hält sich beim Eingriff ins Erdreich (in einem Sicherheitsabstand) hinter dem Bagger auf. Generell gilt der Schwenkbereich eines Baggers als Gefahrenbereich und sollte nicht betreten werden. Der Bagger stellt jedoch in diesen Fällen den besten Schutz dar. Der Baggerführer ist entsprechend einzuweisen.
- Der Zugang zum Schurf bzw. die Beprobung darf erst nach Freigabe durch die munitionstechnische Fachaufsicht erfolgen.
- Insbesondere bei der Identifizierung der Kampfmittel, für die ein Säubern erforderlich sein kann, hat sich der Probenehmer hinter dem Bagger aufzuhalten.
- Die Schürfe selbst dürfen nicht betreten werden.
- Alle Beteiligten unterstehen den Weisungen der munitionstechnischen Fachaufsicht.
- Fundmunition ist durch das zuständige Sprengkommando abzuholen und bis dahin entsprechend den geltenden Sicherheitsvorschriften in geschlossenen Kisten zu lagern.
- Müssen die Kampfmittel sortiert werden, so ist ein Sortierstand mit entsprechendem Sicherheitsabstand auszuweisen. Beim Sortieren dürfen sich keine weiteren Personen im Sicherheitsbereich aufhalten.

Bei der Entnahme der Oberflächenmischproben (im Auswurfbereich) sind angesichts der nur sehr geringen mechanischen Energie, die hierbei aufgewendet wird, keine munitionstechnischen Sicherheitsvorkehrungen erforderlich. Das Einbringen größerer mechanischer Energien (z. B. durch das Einschlagen des Bohrstocks mit dem Hammer) ist jedoch zu vermeiden.

Als Mindestausrüstung an der Erkundungsstelle sind ein Wasserbehälter (5 Liter), Verbandkasten und ein Feuerlöscher (am Leitfahrzeug) vorzuhalten.

Schutzmaßnahmen - Bodenkontaminationen

Im Rahmen der Erkundung und Beprobung sollte aus Vorsorgegründen jede Art der Aufnahme von Sprengstoffen durch Kontakt mit Boden bzw. von Probengut mit der Haut vermieden werden.

Für den Probennehmer und die munitionstechnische Fachaufsicht ist (neben den munitionstechnischen Auflagen) folgende Grundausstattung erforderlich:

- Bausicherheitsgummistiefel
- Schutzhandschuhe
- Arbeitsanzug.

Verschmutzte Arbeitsanzüge sind zu wechseln. Sofern während der Probenahme mit Staubentwicklung zu rechnen ist, sind vom Probennehmer und der munitionstechnischen Fachaufsicht Staubschutzmasken (Partikel filtrierende Halbmasken P3) zu tragen. Innerhalb der kontaminierten Bereiche gilt ein Verzeh-, Trink- und Rauchverbot.

Die betroffenen Personen werden entsprechend den Festlegungen des Sachverständigen im Arbeits- und Sicherheitsplan unterwiesen.

Grundsätzlich können Schürfe in Sprengtrichtern aus Sicherheitsgründen nicht über die Stückzahl als Einzelpreis/Gruppenpreis ausgeschrieben werden. Stattdessen ist für die Arbeiten ein ausreichend bemessener Zeitrahmen anzusetzen.

6.2 Beprobung der Auswurfbereiche

Die im Zuge der Vorarbeiten (Kap. 6.1) zu den Trichtern und Auswurfbereichen erstellten Shapefiles werden zur Vorbereitung der Probenahme in das DGPS geladen. Bei einem Ortstermin werden alle Trichter, die für die Probenahme ausgewählt wurden, mittels DGPS lokalisiert und markiert. Die Auswurfbereiche sollten mit Pflöcken und Trassierungsband im Gelände markiert werden.

Liegen keine Hinweise vor, dass die Trichterbereiche mit ortsfremden Material abgedeckt wurden, schließt die Beprobung der Auswurfbereiche die Trichteroberflächen mit ein. Mehrere Trichterauswurfbereiche können zu Mischproben zusammengefasst oder das Sprengfeld als ganzes beprobt werden.

Die Beprobung erfolgt mittels **Bohrstock**, der mit der Hand eingedrückt und nicht mittels Hammer eingeschlagen wird. Ein Entnahmehorizont von 0 bis 0,3 m ist im Regelfall ausreichend. Kann die Tiefe bei dichtem Untergrund nicht erreicht werden, so wird dies aus Sicherheitsgründen hingenommen. Die Zahl der Einstiche hängt von der Größe der Fläche ab und sollte zwischen 30 und 50 liegen. Es sollten mindestens 5 kg Rohprobenmenge gewonnen werden. Bei mittlerweile wieder bewaldeten Sprengplätzen ist die neu entstandene Auflage aus Nadelstreu bzw. teilhumifizierter Nadelstreu zu verwerfen.

Es wird empfohlen, vor der Probenahme im GIS ein Raster für die Einzelentnahmepunkte zu generieren, um eine in etwa gleichmäßige Verteilung der Einstiche zu gewährleisten. Ein punktgenaues Lokalisieren dieser Entnahmepunkte (mittels DGPS) ist nicht erforderlich. Das Raster soll lediglich ein zielgerichtetes Einstechen ermöglichen. Das Raster und die Vorgehensweise sind zu dokumentieren.

Die Rohprobe von mindestens 5 kg wird vor Ort in einen Behälter überführt, der ein Mehrfaches der Probenmenge fassen kann, so dass eine Homogenisierung möglich ist. Diese erfolgt mittels Spaten, Kelle oder Spachtel über mindestens fünf Minuten. Konkretionen werden hierbei – sofern möglich – zerkleinert oder mit der Hand zerdrückt. Grobmaterialien (Wurzeln, Geröll) werden entfernt. Visuell sichtbare Sprengstoffbrocken verbleiben jedoch in der Rohprobe und werden vermerkt. Die Homogenisierbarkeit wird im Probennahmeprotokoll erfasst. Das Material wird komplett in einen Kunststoffeimer überführt und dem Labor übergeben. Die Eimer sind vor direkter Hitzeeinwirkung zu schützen. Eine Kühlung ist nicht erforderlich.

6.3 Beprobung der Sprengtrichter

Sprengtrichter sind generell einzeln zu untersuchen. Die Bildung von Mischproben ist nicht sinnvoll.

6.3.1 Nicht verfüllte Sprengtrichter

Bei **nicht rückverfüllten Sprengtrichtern** haben seit Beendigung der Sprengungen in der Regel keine anthropogenen Erdbewegungen stattgefunden. Von den Trichterrändern bzw. -böschungen kann jedoch durch Erosion (kontaminiertes) Material zur Trichterbasis gespült worden sein. Nicht rückverfüllte Sprengtrichter werden analog der Vorgehensweise bei den Auswurfmassen durch Oberflächenmischproben mittels Bohrstock erkundet. Trichterböschung und Trichterbasis können zu einer Mischprobe zusammengefasst werden, wenn der Geländeeindruck dieser Vorgehensweise nicht widerspricht. Die Zahl der Einstiche sollte zwischen 30 und 50 liegen. Die Entnahmetiefe beträgt 0 - 0,3 m. Die Rohprobenmenge sollte bei > 5 kg liegen. Der Auswurfbereich/die Auswurfbereiche unverfüllter Sprengtrichter werden gesondert beprobt.

6.3.2 Rückverfüllte Sprengtrichter

Sondierbohrungen sind als Erkundungsverfahren bei verfüllten Trichtern ungeeignet, da sie den Untergrund nur punktuell aufschließen und das entnommene Material dadurch eine stark eingeschränkte Repräsentativität besitzt. Zudem ist eine geomagnetische Freimessung von Trichtern prinzipiell nicht möglich, so dass bei den Bohr- bzw. Rammarbeiten die Gefahr einer Detonation von blind gegangenen Kampfmitteln im Untergrund nicht auszuschließen ist.

Die Erkundung **verfüllter oder teilverfüllter Trichter** erfolgt daher unter einer munitionstechnischen Fachaufsicht mit einem leistungsfähigen Hydraulikkettenbagger mit Tieflöffel. Dies erlaubt die Gewinnung einer ausreichend großen Menge von Rohprobenmaterial relativ einheitlicher Qualität. Die erreichbare Grabtiefe sollte 5 m betragen.

Der in den Vorarbeiten bestimmte Mittelpunkt des Trichters stellt den Ansatzpunkt des Schurfs dar. Beim Öffnen des Trichters ist zunächst der Oberboden abzuheben und getrennt zu lagern, da er bereits im Rahmen der Beprobung der Auswurfmassen untersucht wurde. Anschließend sollte bis zum Erreichen des natürlichen Untergrunds geschürft werden. Der Aushub wird separat gelagert. Kampfmittel finden sich meist nicht im rückverfüllten Auswurf, sondern im natürlichen Untergrund. Es empfiehlt sich daher, den Schurf über die Grenze des aufgefüllten Materials hinaus zu vertiefen.

Der Projektleiter hat sich nach dem Erschließen des oberflächennahen Untergrunds von der Richtigkeit des Ansatzpunktes zu überzeugen. Finden sich keine Hinweise auf Auffüllungen, so ist der Schurfansatzpunkt zu versetzen. Je nach Untergrund kann die Unterscheidung von natürlichem Untergrund und aufgefülltem Material erschwert sein. Es wird deshalb empfohlen, vor Beginn der Trichteröffnungen außerhalb des Sprengfelds einen Referenzschurf anzulegen, um einen Einblick in den ungestörten Bodenaufbau zu gewinnen. Trichterfüllungen mit zwei oder mehreren Lagen unterschiedlicher Materialien sind jeweils separat zu lagern.

Der Munitionsfachkundige separiert den abgelegten Aushub – soweit möglich – von eventuellen Kampfmitteln. Beim Antreffen von handhabungsunsicheren Kampfmitteln sind die Schurfarbeiten im Regelfall einzustellen.



Abb. 42: Schlecht homogenisierbares rückverfülltes Auswurfmaterial. Links vor, rechts nach intensiver Homogenisierung.

Indizien für rückverfüllten Auswurf sind z. B. Munitionssplitter oder faserig zersetztes, grünlich-weißlich schimmerndes Aluminium aus Zündern. Tonig-schluffiger Auswurf weist oft ein typisch breckziöses, „körniges“ Erscheinungsbild auf. Bei Sanden ist die Einstufung schwieriger. Ziegelreste, Bauschutt oder organisches Material wie Wurzelstöcke dagegen sind ein Indiz für spätere Rückverfüllungen. Derartiges Material war dem Sprengvorgang nicht ausgesetzt und ist daher als unbelastet mit STV anzusehen.

Angetroffenes Schicht- oder Sickerwasser ist in jedem Fall zu beproben. Es ist jedoch darauf zu achten, dass es sich um Schichtwasser handelt, das aus potenziell kontaminierten Bereichen zugescickt ist. Eine Fotodokumentation der Schürfe und des Aushubmaterials ist zu erstellen. Hierbei sind Bezeichnungstafeln zu verwenden, die eine eindeutige Zuordnung der Aufnahmen ermöglichen.

Die richtige Ansprache des Materials setzt entsprechende Erfahrungen des Probenehmers voraus. Die Probenahme sollte daher von einem Sachverständigen vorgenommen werden, der bereits Probenahmen auf Sprengplätzen durchgeführt hat.

Im Anschluss sind die ggf. erschlossenen **Kampfmittel** von Projektleiter und Munitionsfachkundigem gemeinsam zu protokollieren. Die Einteilung erfolgt zunächst gemäß klassischer Feuerwerker-Ansprache in „Munition“ (Typ und Kaliber, Gewicht, Herkunft u. s. w.) und „Munitionsteile“. Es ist zu empfehlen, für evtl. spätere Bergungen die Bezünderung und die Handhabungsfähigkeit zu vermerken. Die Munitionsteile sind möglichst detailliert zu beschreiben (z. B. Zünder, Kartuschen, Teile angesprengter Granaten). Die Fundstücke der einzelnen Kategorien werden gezählt und verwogen. Es wird empfohlen, die Munitionsfunde (zusammen mit Bezeichnungstafeln) zu fotografieren.

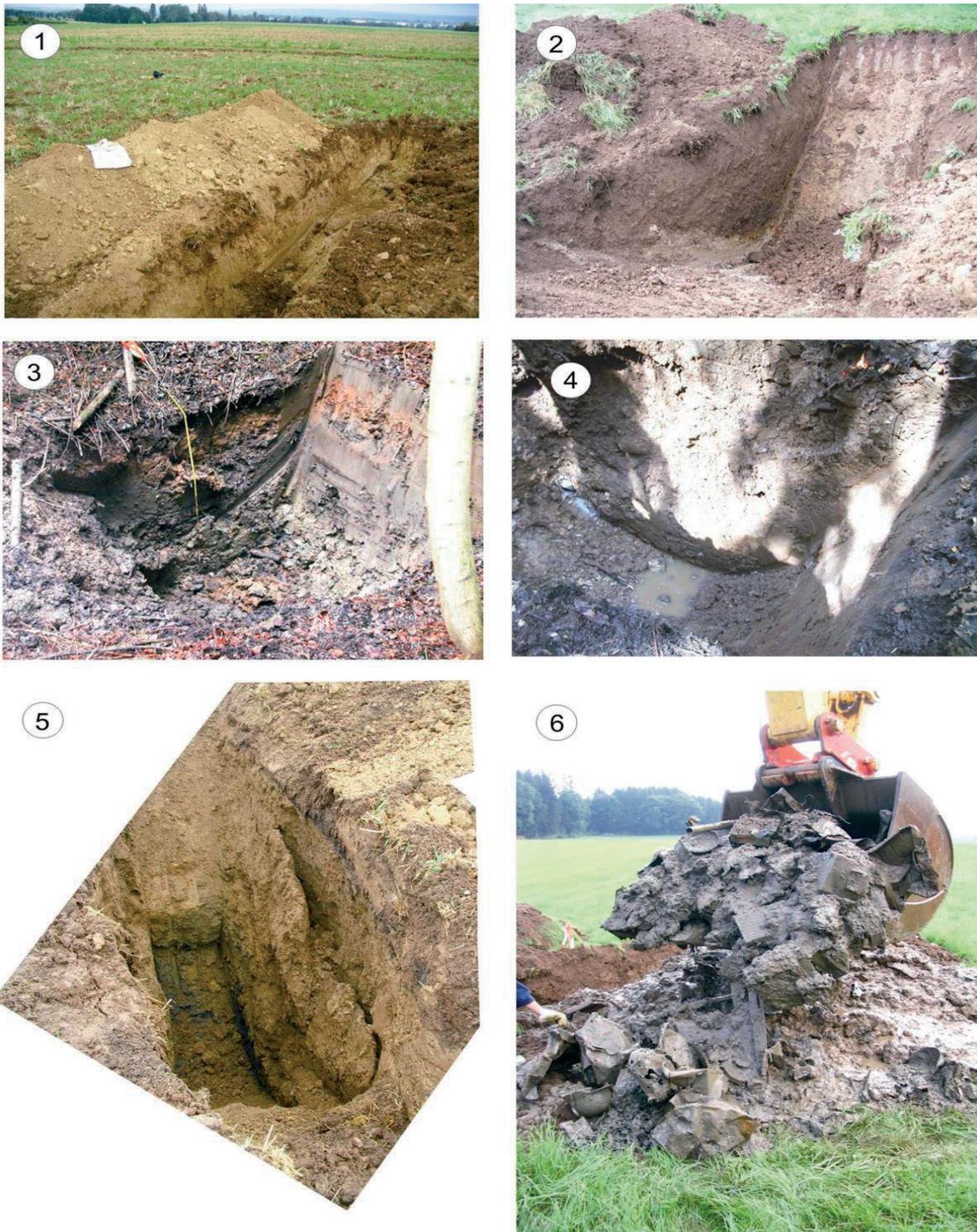


Abb. 43: Verschiedene Trichterrückverfüllungen. 1 = Der Schurf traf keinen Trichter an. Es ist durchgehend natürlicher Untergrund zu erkennen. 2 = An der Seite des Schurfs ist an den Farbunterschieden die nach rechts abtauchende ehemalige Trichterböschung zu sehen. Der Trichter ist mit Auswurf rückverfüllt. 3 = Das rückverfüllte Material besteht vorrangig aus zersetztem organischem Material (Wurzel- und Blätterreste). Es handelt sich um externes Fremdmaterial. Es erwies sich dementsprechend als nicht belastet. 4 = Komplette mit Auswurf rückverfüllter Trichter. An der Basis wurde Sickerwasser angetroffen, das Belastungen an TNT und dessen Metaboliten aufwies. 5 = Komplette mit Auswurf rückverfüllter Trichter. Das (oft kreisförmige) Nachbrechen der Flanken ist typisch für rückverfüllte Trichter. 6 = Dieser Trichter wurde zu wesentlichen Teilen mit Wehrmachtsmüll rückverfüllt, das Material war zwar keiner Sprengung ausgesetzt, Belastungen der Matrix deuten jedoch darauf hin, dass auch kontaminierter Auswurf mit verfüllt worden ist.



Abb. 44: Beispiele für Munitions-Klassifizierungen zur Gefährdungsabschätzung. 1 = Munition (geschlossen); bezünderte Sprenggranaten (Beutemunition); Kaliber ca. 10 und 15 cm. 2 = Munition (offen); angesprengte 7,5 cm Panzergranate (D). 3 = Munition (offen); vermutlich low-order-detonierte 15 cm Sprenggranate (Abschuss-Blindgänger; zusätzlich einer Sprengung ausgesetzt). 4 = Munition (offen); low-order-detonierte ca. 7,5 cm Sprenggranate; (Beutemunition). 5 = Munition (offen); Teile von größeren Granaten (Beutemunition). 6 = lose Sprengstoffbrocken (TNT). 7 = Munition (geschlossen) (sprengstofffrei) angesprengte Infanteriemunition, verbacken mit Erdreich. 8 = Munitionsteil; angesprengte Hülsenkartusche mit Treibmittelfüllung.

Anschließend sind Munition und Munitionsteile hinsichtlich ihres **Gefährdungspotenzials** für das **Grundwasser** zu bewerten. Dabei sind alle Kampfmittel oder Teile von Kampfmitteln bei welchen Bodenwasser mit offen liegendem Sprengstoff in Berührung treten kann, wie z. B. aufgebrochene Granaten, Munitionsteile mit Sprengstoffanhaftungen oder sprengkräftige Zünder mit offen liegenden Verstärkungsladungen aus Sekundärsprengstoff zu berücksichtigen. Zusammen mit der betreuenden Fachaufsicht ist bei jedem einzelnen Fundstück die Größe der offen liegenden Sprengstofffläche (ggf. mit Hilfe von zuvor erstellten Schablonen) abzuschätzen und zu notieren. Im Fall von dreidimensionalen Bruchstrukturen des offen liegenden Sprengstoffs sind einzelne Teilflächen zu bilden und aufzuzählen. Ist aufgrund von Verschmutzung oder anhaftendem Boden nicht ersichtlich, ob die aufgebrochenen Hüllen noch Sprengstoff enthalten, und ist aus Sicherheitsgründen eine Säuberung nicht möglich, so gilt prinzipiell, dass offener Sprengstoff vorliegt. Die Größe der Sprengstoffoberfläche ist näherungsweise abzuschätzen. Relevante Objekte sind zu fotografieren. Tab. 1 zeigt exemplarisch die Parameter, die bei der kampfmitteltechnischen Aufnahme eines Schurfs erfasst wurden.

Anschließend erfolgt die **Beprobung** des Aushubs. Ist der Trichter einheitlich mit Auswurf verfüllt, wird **eine Mischprobe über den gesamten Auffüllbereich** entnommen. Im Unterschied zur Vorgehensweise bei herkömmlichen Altlasten **findet keine meterweise Beprobung** statt. Der natürliche Untergrund wird im Regelfall nicht beprobt. Sind visuell sehr unterschiedliche Lagen zu erkennen, so können diese getrennt beprobt und untersucht werden, insbesondere wenn nicht klar ist, welches Material mit Sprengstoff in Berührung gekommen ist. Bei Trichtern, die mit **externem Fremdmaterial** verfüllt sind, sollte nach Möglichkeit der Horizont beprobt werden, der direkt unterhalb des aufgefüllten Fremdmaterials folgt. Der Entnahmehorizont sollte 0,3 m nicht wesentlich überschreiten. Es ist im Einzelfall vor Ort zu entscheiden, ob die externe Fremdauffüllung beprobt und chemisch untersucht werden muss.

Aus Sicherheitsgründen ist das Rohprobenmaterial erst nach der kampfmitteltechnischen Freigabe des Haufwerks sowie bei der Rückverfüllung des Schurfs zu entnehmen.

Vom schrumpfenden Haufwerk wird hierbei sukzessive mittels Kelle Probengut entnommen und in einem Behälter gesammelt. Dabei sollten die Teilmengen von mindestens 50 verschiedenen Stellen des Aushubs/Haufwerks (bzw. der für die Probenahme vorgesehenen Lage) stammen. Die Rohprobenmenge sollte etwa 20 kg betragen. Das Volumen des Probensammelbehälters sollte 3 - 4 mal größer sein als das Probenvolumen, um eine ausreichende Mischbarkeit zu gewährleisten. Die Sammelprobe ist anschließend über mindestens fünf Minuten mittels Spaten bzw. Kelle/Spachtel zu homogenisieren. Vorhandene Bodenaggregate werden zerteilt bzw. mit der Hand soweit möglich zerdrückt. Grobmaterialien (Wurzeln, Geröll) werden manuell aussortiert. Visuell erkennliche Sprengstoffbröckchen verbleiben in der Probe und werden aus Sicherheitsgründen nicht weiter zerkleinert. Bei sehr bindigem Material muss ggf. portionsweise homogenisiert werden. Die Homogenisierbarkeit ist zu vermerken. Gegebenenfalls ist das Material vor und nach der Homogenisierung zu fotografieren. In Abhängigkeit der gewählten Elutionsverfahren wird die Rohprobenmenge ggf. nicht mehr verjüngt, sondern in Kunststoffeimer überführt und dem Labor zugeführt. Die Eimer sind vor direkter Hitzeeinwirkung zu schützen. Eine Kühlung der Proben während des Transports zum Labor ist nicht erforderlich.

In der Regel wird durch den Wiedereinbau des bei der Probenahme anfallenden Materials am selben Ort der ursprüngliche Zustand nicht verschlechtert. Da durch den Wiedereinbau eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit nicht zu erwarten ist, kann das Aushubmaterial zur Rückverfüllung der Schürfe verwendet werden.

Tab. 1: Beispiel für die Einteilung und Bewertung der Kampfmittelfunde eines Schurfs

Kampfmittelfunde							
Munition							
Typ-/Kaliber	Gewicht [kg]	Anzahl	Ges. Gewicht [kg]	Ursprung	bezündert	handhabungs-sicher	Bemerkung
7,5 cm Sprgr.	8	2	16	dt. (2.WK)	ja	ja	kaum korrodiert
8 cm Wgr.	8	2	16	dt. (2.WK)	nein	ja	Zünder weggesprengt; Füllung offen
5 cm Pzgr.	2	1	2	russ.	ja	nein	
2 cm Pzbr.Gr.	0,2	11	2,2	dt.	nein	ja	Phosphorfüllung
10,5 cm Gr.	16	1	10	verm. 1. WK	ja		gelbe Ausblühungen am Zünder
Infanteriemunition			2	dt.	-	ja	sehr große Mengen, daher nicht alles geborgen
Summe Munition		17	36,2				
Munitionsteile							
10,5 cm Granate		1	4	unklar	nein	ja	angesprengt
div. Munitionsteile		7	3	-	-	-	Sprengstoffanhaftungen
2 cm Kartuschhülsen		4	1	dt.	-	-	mit Pulverfüllung; stark korrodiert
Zünder		7	4	dt.	-	-	vermutlich nicht sprengkräftig
Summe Munitionsteile		19	12				
davon Munition und Munitionsteile mit offenen Sprengstoffoberflächen							
Typ (Anzahl)	Gewicht	cm ² offen liegender Sprengstoff	Bemerkung				
8 cm Wgr (2)	16	6 + 8					
10,5 cm Granate (1)	4	9					
Munitionsteile (7)	3	8					
Gesamt	15	31					

Die detaillierte Erfassung von Splittern ist bei Schürfen nicht sinnvoll, da sie im Regelfall nicht aus dem Schürfgut geborgen werden. Die Splitterhäufigkeit sollte jedoch abgeschätzt und vermerkt werden.

6.4 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen der modellhaften Erkundung von zwei Standorten wurden verschiedene Untersuchungsverfahren parallel auf ihre Praxistauglichkeit und Aussagekraft untersucht. Folgende Verfahren kamen zur Anwendung:

- Untersuchung von 10 g Originalsubstanz mittels Methanolextrakt
- Untersuchung von 10 g Originalsubstanz, zermörsert, mittels Methanolextrakt
- Untersuchung von 200 g Originalsubstanz mittels Methanolextrakt
- DEV-S4-Eluat, d. h. Elution von 100 g Originalsubstanz mittels Wasser über 24 h im Schüttler im Mischungsverhältnis Boden–Wasser von 1:10
- Eluat nach SCHWENDNER/HAAS, d. h. Elution von 200 g Originalsubstanz mittels Wasser über 1 h im Schüttler im Mischungsverhältnis Boden–Wasser von 1:3,75
- Wannenuelat, Vor-Ort-Elution von 20 kg Bodenmaterial durch mehrmaliges Umrühren im Mischungsverhältnis 1:1; die Standzeiten waren unterschiedlich
- Muldenelat, d. h. Übergießen von etwa 5 t Boden mit 800 l Wasser, Untersuchung des Überstands; die Standzeiten waren unterschiedlich
- Auslaugversuche mit 1 - 3 m langen Auslaufzylindern. Die Durchbruchzeiten waren unterschiedlich.

Die Ergebnisse sind im **Anhang 2.3** zusammengestellt. Insbesondere mit den einzelnen Elutionsverfahren wurden teilweise sehr unterschiedliche Konzentrationen an STV gemessen. Eindeutige Zusammenhänge waren nicht durchgängig zu erkennen. Dies lag einerseits an der Heterogenität des Probenmaterials, die sich trotz sorgfältiger Homogenisierung nicht vollständig eliminieren ließ, andererseits aber auch an verfahrensbedingten Einflüssen bei der jeweiligen Elutionsmethode. Diese teils konträr wirkenden Einflüsse konnten unter den gegebenen Versuchsanordnungen nur auf der Basis theoretischer Überlegungen abgeschätzt werden. Insgesamt ließen sich folgende Zusammenhänge erkennen:

6.4.1 Untersuchung der Originalsubstanz

Die bei der Untersuchung der Originalsubstanz mittels Methanolextrakt (ME) eingesetzten Materialmengen von üblicherweise 10 g für den gesamten Sprengtrichter, der je nach Größe mit 500 bis 2000 t Auswurf rückverfüllt sein kann, müssen repräsentativ sein, um für sprengstofftypische Verbindungen (STV) belastbare Ergebnisse zu erhalten. Die bisherigen Erfahrungen bei der Untersuchung von Sprengplätzen zeigen jedoch, dass die mittels ME gemessenen Konzentrationen sehr starken Schwankungen unterliegen. Diese beruhen weniger auf tatsächlichen Unterschieden im Belastungsgrad einzelner Trichter, sondern sind vielmehr dadurch bedingt, dass die extrahierte Bodenmenge beim Methanolextrakt sehr klein ist und somit von der heterogenen Schadstoffverteilung sehr stark beeinflusst wird. Das mittels ME ermittelte Analyseergebnis besitzt insbesondere bei nicht hinreichend repräsentativ entnommenen und bei schlecht mischbaren Bodenproben eine große Zufallskomponente.

Darüber hinaus hat sich im Vergleich mit den Ergebnissen der Eluierungsversuche gezeigt, dass die Untersuchung der Originalsubstanz mittels Methanolextrakt bei der üblichen Bestimmungsgrenze für STV von in der Regel 0,1 mg/kg für die Erkundung von Sprengplätzen zu unempfindlich ist. Oft werden erst mit den empfindlicheren Eluatverfahren entsprechende Nachweise erzielt. Insbesondere das im Boden extrem mobile Hexogen kann jedoch bereits in Stoffkonzentrationen, die unter der Nachweisgrenze des Methanolextrakts liegen, in Bodeneluat nachgewiesen werden und somit eine Ge-

fahr für das Grundwasser darstellen. Dies bestätigen Hexogen-Grundwasserbelastungen auf verschiedenen Sprengplätzen bei fehlenden Nachweisen im Boden (Anhang 2.1).

Der Methanolextrakt ist daher als Untersuchungsmethode zur Feststellung von Belastungen der Originalsubstanz auf Sprengplätzen **nur bedingt geeignet** und ohne Anreicherung des Extrakts bzw. Erniedrigung der Nachweisgrenze nicht bzw. nur unter Vorbehalt zu empfehlen. Für zukünftige Untersuchungen werden deshalb in Anlehnung an die Beurteilung hydrophiler organischer Schadstoffe gemäß LfW-Merkbatt 3.8/1 [165] bis auf weiteres **Eluatverfahren** befürwortet.

Sofern dennoch Feststoffgehalte mittels Methanolextrakt ermittelt werden sollen, ist dringend anzuraten, Doppelt- oder Dreifachanalysen durchzuführen. Bei Analysenergebnissen in vergleichbaren Größenordnungen kann der ermittelte Feststoffgehalt an STV für einen Trichter bzw. dessen Auswurfbereich als zuverlässig angesehen werden. Es liegt dann jedoch keinesfalls ein räumlich, mit konventionellen Beprobungsmethoden eingrenzbarer Schaden vor.

Andererseits kann bei negativen Befunden des Methanolextrakts in der Regel **nicht** davon ausgegangen werden, dass im Boden von Sprengtrichtern keine Sprengstoffe vorhanden sind; in der Regel sind Positivnachweise erst mittels wässriger Eluatverfahren möglich.

Die Ermittlung des Emissionspotenzials anhand der Gesamtstoffgehalte ist somit derzeit nur eingeschränkt möglich bzw. sie muss indirekt im Zuge der Sprengbilanz erfolgen (Kap. 6.1.2).

Die Untersuchung der Originalsubstanz mittels Methanolextrakt kann jedoch – trotz der erkannten Mängel – für die Proben aus dem Auswurfbereich und bei unverfüllten Sprengtrichtern Anwendung finden, da sich die Beurteilung des Pfads Boden–Mensch auf die Gesamtstoffgehalte der Originalsubstanz bezieht.

6.4.2 Untersuchung von Eluaten

Als optimal für eine aktuelle Emissionsabschätzung am Ort der Probenahme ist die Gewinnung und Untersuchung von Bodensickerwasser anzusehen. Da dies in der Regel aber nur mit erheblichem Aufwand möglich ist, wird üblicherweise auf Eluatuntersuchungen zurückgegriffen.

Im Fall der Sprengtrichter stellt die direkte Untersuchung des Schichtwassers, das sich ggf. bei der Beschürfung am Trichtergrund sammelt, eine wertvolle Zusatzinformation dar. Die hier ermittelte Konzentration kann in der Regel mit den Konzentrationen am Ort der Probenahme gleichgesetzt werden. Sofern die Beprobung von Schichtwasser nicht möglich ist, müssen die Konzentrationen am Ort der Probenahme anhand von Eluatanalysen geeigneter Bodenproben abgeschätzt werden. Hierbei ergeben sich folgende Schwierigkeiten:

- Bisher gibt es kaum Untersuchungsergebnisse zu Sickerwasserkonzentrationen in Sprengtrichtern.
- Bei den bisher durchgeführten Untersuchungen von Sprengplätzen (Anhang 2.1) fanden sich nur sehr wenige Standorte, bei denen Ergebnisse von Schicht-/Sickerwasser und aus Eluaten eines Trichters parallel vorlagen. Eindeutige und plausible Zusammenhänge zwischen Boden- bzw. Eluatkonzentrationen und Schicht-/Sickerwasserkonzentrationen waren hier nicht zu erkennen. Es ergaben sich jedoch vereinzelt Hinweise, dass Schicht-/Sickerwasser deutlich höher (ein mehrfaches) belastet sein kann, als die korrespondierenden Eluatproben.
- Bisher gibt es keine wissenschaftlichen Studien mit Lysimetern in Sprengtrichtern, die einen Vergleich von Laborkonzentrationen und tatsächlichen „Feldkonzentrationen“ ermöglichen würden.
- STV-Sickerwasserkonzentrationen auf Sprengplätzen scheinen sowohl zeitlich als auch räumlich starken Konzentrationsschwankungen (oft über Größenordnungen) zu unterliegen.

Generell ist für die Sickerwasserprognose ein Verfahren zu bevorzugen, dass die am Ort der Probenahme vorliegenden Konzentrationen möglichst realitätsnah widerspiegelt und potenzielle Fehlerquellen minimiert. In der Regel verändern aber alle Untersuchungsverfahren durch die Probenahme, die Probenvorbereitung und durch die Versuchsparameter, die bei der Elution gewählt werden, zwangsläufig die Freisetzungsraten der Sprengstoffe und u. U. auch das Adsorptionsverhalten des Bodens gegenüber natürlichen Bedingungen in unterschiedlichem Maß. Versuchsbedingt stellen sich somit zwangsläufig unterschiedliche Konzentrationen bei den verschiedenen Eluatmethoden ein.

Vergleich der Untersuchungsmethoden – Theoretische Charakteristiken der Verfahren

Das „DEV-S4-Eluat“ (1:10-Eluat) verwendet in der Regel 100 g Boden als Analysenmenge; es können aber auch größere Probenmengen eingesetzt werden. Das S4-Eluat weist dadurch eine höhere Repräsentativität gegenüber dem Methanolextrakt (10 g Boden) auf. Durch das intensive Schütteln über 24 h und das große Volumen an Elutionsmittel mobilisiert das S4-Eluat nach dem Methanolextrakt die größten Mengen an STV (jeweils umgerechnet auf 1 kg Boden). Das Verfahren eignet sich daher sehr gut, um die mobilisierbaren Anteile zu bestimmen. Für die Abschätzung der Sickerwasserkonzentration am Ort der Probenahme mittels S4-Eluat sind jedoch verschiedene konträr wirkende Faktoren zu berücksichtigen.

- Das intensive Schütteln setzt mehr Schadstoffe als unter natürlichen Bedingungen frei.
- Bei bindigen Böden kann die große mechanische Beanspruchung beim Schütteln gleichzeitig zu einer Erhöhung des Adsorptionspotenzials des Bodens gegenüber ungestörten Verhältnissen führen.
- Das Mischungsverhältnis von Boden zu Wasser von 1:10 führt theoretisch zu einer deutlichen Verdünnung der freigesetzten Mengen gegenüber natürlichen Bodenlösungen. Sofern die Verdünnung durch die aufgrund der Elutionsbedingungen verstärkte Freisetzung von STV (Schütteln) nicht ausgeglichen wird, führt das S4-Eluat eher zu Minder- als zu Mehrbefunden gegenüber realen Verhältnissen.

Das „Eluat nach SCHWENDNER/HAAS“ sollte aus theoretischen Überlegungen realitätsnähere Ergebnisse als das S4-Eluat liefern, da

- die im Vergleich zum S4-Eluat doppelt so große Analysenmenge eine bessere Repräsentativität der Stichprobe bedingt,
- das Freisetzungsverhalten und die Adsorptionseigenschaften des Bodens durch das nur einstündige Schütteln weniger beeinflusst werden und
- das Mischungsverhältnis Boden zu Elutionsmittel von 1:3,75 zu einer geringeren Verdünnung führt.

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Vor- und Nachteile der getesteten Elutionsmethoden wird **bis auf weiteres das DEV-S4-Elutionsverfahren zur Anwendung empfohlen**, da es sich bisher in der konventionellen Altlastenbearbeitung bewährt hat und die Vorgehensweise festgelegt ist. Mittels S4-Eluat werden im Vergleich zu den anderen Eluatverfahren die größten freigesetzten Schadstoffmengen ermittelt (ausgedrückt in μg pro kg Boden). Aufgrund von Verdünnung und versuchsbedingter Veränderung des Adsorptionsverhaltens eines Bodens während des Versuchs können jedoch die gemessenen Eluatkonzentrationen (deutlich) unter denen realer Sickerwässer liegen, d. h. es sind eher Minder- als Mehrbefunde zu erwarten. Die Einführung eines „Korrekturfaktors“, mit dem vom S4-Eluat näherungsweise auf reale Sickerwasserkonzentrationen geschlossen werden kann, ist nicht möglich.

Die Herstellung der Analysenmenge (100 g) für das S4-Eluat aus der Labormenge ist sehr sorgfältig durchzuführen, um die Repräsentativität des letztlich untersuchten Materials zu gewährleisten. Bei bindigen Proben kann trotz sorgfältiger Homogenisierung u. U. nur eine eingeschränkte Repräsentativität erreichbar sein. Ist dies der Fall, können entweder Parallelproben untersucht oder das S4-Eluat mit einer größeren Probenmenge durchgeführt werden. Daher sollte in diesen Fällen bereits bei der Beprobung ausreichend Bodenmaterial für die Laboruntersuchungen entnommen werden.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der relativ geringen Analysenmenge sehr wahrscheinlich größere Sprengstoffbrocken aus der Laborprobe nicht in die Analysenmenge gelangen.

Das „Wanneneluat“ (1:1) weist prinzipiell vier Vorteile auf:

- Das enge Mischungsverhältnis zwischen Boden und Elutionsmittel von 1:1 kommt natürlichen Verhältnissen relativ nahe.
- Beim Umrühren über nur wenige Minuten wird nur eine geringe mechanische Energie in den Boden eingebracht. Der Boden wird hinsichtlich seines Adsorptionsverhaltens kaum beeinflusst. Die Schadstofffreisetzung liegt daher näher an realen Gegebenheiten.
- Die große Analysenmenge von 5 bis 20 kg erhöht die Repräsentativität gegenüber den anderen Verfahren.
- Das Verfahren erlaubt zumindest bei Proben aus verfüllten Sprengtrichtern probenahmebedingt (vgl. Kap. 6.3) auch eine Abschätzung des Gefährdungspotenzials von größeren Sprengstoffbrocken.

Das Wanneneluat liefert daher Stoffkonzentrationen, die wahrscheinlich nahe an realen Sickerwasserkonzentrationen liegen. Nachweise hierfür liegen allerdings nicht vor, da Vergleichsuntersuchungen mit realem Sickerwasser bisher fehlen. Das Verfahren ist zudem noch nicht „normiert“, so dass über die Reproduzierbarkeit keine Erkenntnisse vorliegen. Aus diesem Grund ist eine klare Empfehlung für dieses Verfahren als „Elutionsmethode der Wahl“ für Sprengplätze zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich.

Das „Muldeneluat“ weist drei entscheidende Nachteile auf:

- es ist sehr aufwändig,
- Mulden mit Bodenablauf, die ein vertikales Durchsickern belasteten Bodens simulieren würden, sind nur eingeschränkt verfügbar,
- das Vermischen von Elutionsmittel (Wasser) und Boden ist technisch vor Ort nicht ausreichend möglich.

Auf Grund der unzureichenden Durchmischung liefert das Muldeneluat vermutlich zu geringe Schadstoffkonzentrationen und wird daher nicht zur Anwendung empfohlen.

Da das S4-Eluat eher zu Minderbefunden führt, die Repräsentativität eingeschränkt sein kann und auf Grund der geringen Analysenmenge das Emissionspotenzial von losen Sprengstoffbrocken in der Regel vermutlich nicht vollständig erfasst wird, erscheint es sinnvoll Proben aus Sprengtrichtern ergänzend mittels Wanneneluat zu untersuchen.

Das engere Mischungsverhältnis zwischen Boden und Elutionsmittel von 1:1 kommt den natürlichen Verhältnissen deutlich näher als unter den Versuchsbedingungen beim DEV-S4-Eluat (1:10). Der Mischungsvorgang dauert nur wenige Minuten, dadurch wird der Boden hinsichtlich seines Adsorptionsverhaltens wenig beeinflusst. Die große Analysenmenge, die zwischen 5 und 20 kg liegen sollte, erhöht die Repräsentativität gegenüber den anderen Verfahren, so dass zumindest bei Proben aus verfüllten Sprengtrichtern, probenahmebedingt (vgl. Kap. 6.3) auch die aus größeren Sprengstoffbrocken freisetzbaren STV-Mengen über die Eluatkonzentration erfasst werden. Eine klare Empfehlung für das Wannaneluat als alleiniges Untersuchungsinstrumentarium ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich, da ein signifikanter Einfluss durch individuelles Umrühren beim Versuch nicht ausgeschlossen werden kann und die Reproduzierbarkeit des Verfahrens bisher nicht geprüft wurde.

Sofern das Wannaneluat (1:1) in Ergänzung zum S4-Eluat durchgeführt wird, kann die Untersuchung von S4-Parallelproben entfallen.

Aufgrund theoretischer Überlegungen sollten die „Auslauf- Zylinder“ folgende Vorteile aufweisen:

- Sie simulieren die natürliche Durchsickerung des Bodens prinzipiell wesentlich realitätsnäher als die Schüttel- bzw. Rührversuche.
- Außer bei der Homogenisierung wird bei der Elution keine mechanische Energie eingebracht. Das Adsorptionsverhalten des Bodens wird dadurch kaum verändert.
- Das Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis dürfte weitgehend den zumindest zeitweise gegebenen Bedingungen im Feld entsprechen.

Die im Ablauf der Zylinder gemessenen Konzentrationen können über denen der Labor- oder Feldeluat und möglicherweise auch über denen realer Sickerwässer liegen. Dies ist vermutlich dadurch bedingt, dass die Kontaktzeiten – je nach Durchlässigkeit des Bodens – länger sind und dass bei der Durchsickerung sehr wenig Wasser mit sehr viel kontaminiertem Boden in Berührung kommt.

Die Zylinderversuche in der durchgeführten Form sind als Grundlage für eine Sickerwasserprognose jedoch nicht zu empfehlen, da sie

- sehr aufwändig bzw. in einem Routinebetrieb nicht praktikabel sind und
- die Reproduzierbarkeit bisher nicht geprüft wurde.

Wurden Grundwasserverunreinigungen mit Hexogen festgestellt und waren mit den üblichen Methoden im Boden keine Schadstoffnachweise möglich, kann ggf. mit den Auslaufzylindern ein entsprechender Nachweis erbracht werden, da mit diesem Verfahren für Hexogen jeweils die höchsten Konzentrationen ermittelt wurden.

Wie beim S4-Eluat sollte auch beim Wannaneluat die Elution im Labor und mit entmineralisiertem Wasser vorgenommen werden. Als Standzeit für das Wannaneluat sind ebenfalls 24 h anzusetzen. Dazwischen sollte mehrmals umgerührt werden, sodass ein Konzentrationsausgleich zwischen Überstand und Bodenlösung möglich ist. Um eine dem S4-Eluat vergleichbare Absetzzeit vor der Eluatent-

nahme zu gewährleisten, sollte 15 min vor der Probenahme ein letztes Mal umgerührt werden. Die weiteren Aufarbeitungsschritte erfolgen analog dem S4-Eluat.

Das Wannneluat liefert Stoffkonzentrationen, die aus theoretischen Überlegungen näher als das S4-Eluat an realen Sickerwasserkonzentrationen liegen sollten; ein Nachweis liegt allerdings nicht vor, da Vergleichsuntersuchungen mit realem Sickerwasser bisher fehlen.

Die Konzentrationen, die sich in einem Eluat einstellen, sind u. a. von der Lösungsrate und von der Adsorptionsrate abhängig, die beide zeit- und konzentrationsabhängig sind. In der Regel kann bei den niedrigen Konzentrationsniveaus, die für Sprengplätze charakteristisch sind und angesichts des partikelförmigen Vorliegens der Rückstände nicht davon ausgegangen werden, dass sich nach 24 h Elutionszeit ein Lösungsgleichgewicht einstellt bzw. die Sättigung erreicht wird. Es ist daher standortspezifisch zu prüfen, ob eine Verlängerung der Wannenstandzeit auf 96 h und die Einführung von drei Beprobungen (nach 24 h, 48 h und 96 h) einen Informationsgewinn verspricht. Auch in diesem Fall sollte 15 min vor jeder Probenahme umgerührt werden, um den Konzentrationsaustausch zwischen Überstand und Bodenlösung sicherzustellen und um diesbezüglich eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit dem S4-Eluat zu ermöglichen.

Bei ansteigenden Konzentrationen zum Versuchsende ist anzunehmen, dass die Freisetzung der Schadstoffe gegenüber der Adsorption dominiert. Nehmen die Werte ab, so dominiert die Adsorption. Unabhängig hiervon kann angenommen werden, dass die zum Versuchsende ermittelte Konzentration vermutlich näher an den tatsächlichen Verhältnissen in einem Sprengtrichter liegt.

Tab. 2: Übersicht der Vor- und Nachteile der erprobten Methoden

Methode	Vorteile	Nachteile	Bewertung
Methanol-Extrakt	<ul style="list-style-type: none"> ➤ kostengünstig ➤ keine zusätzlichen Probenahmekosten ➤ Besseres Lösungsvermögen für STV als Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ anfällig gegenüber Heterogenität ➤ Repräsentativität der Analysenmenge fraglich ➤ in der Regel hohe Streubreite ➤ zu hohe Nachweisgrenze / unzureichende Empfindlichkeit 	Anwendung nur in Verbindung mit Untersuchung von Parallelproben und wässrigen Eluaten.
S4-Eluat (1:10)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ kostengünstig ➤ keine zusätzlichen Probenahmekosten ➤ hohe Nachweisstärke für STV ➤ in der konventionellen Altlastenbearbeitung bewährtes Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ realitätsfernes Mischungsverhältnis von Boden zu Elutionsmittel ➤ Veränderung der Adsorptionseigenschaften des Bodens ➤ bedingt anfällig gegenüber Heterogenität ➤ bedingt zur Abschätzung der Sickerwasserkonzentration geeignet (eher Minder- als Mehrbefunde) 	Anwendung empfohlen ! Werte für Sickerwasserprognose u. U. zu niedrig (Trichter).
Eluat nach SCHWENDNER/HAAS (1:3,75)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ kostengünstig ➤ keine zusätzlichen Probenahmekosten ➤ hohe Nachweisstärke für STV 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ realitätsfernes Wasser-/Feststoffverhältnis (mittlere Verdünnung) ➤ bedingte Schaffung zusätzlicher Sorptionsplätze ➤ bedingt anfällig gegenüber Heterogenität ➤ bedingt zur Abschätzung der Sickerwasserkonzentration geeignet 	Anwendung in Kombination mit Wannenuelat möglich. Werte für Sickerwasserprognose möglicherweise zu niedrig! (Trichter).
Wannenuelat (1:1) modifizierte Version	<ul style="list-style-type: none"> ➤ kostengünstig u. geringe zusätzliche Probenahmekosten ➤ realitätsnahes Wasser-/Feststoffverhältnis ➤ weitgehend unanfällig gegenüber Heterogenität ➤ geringe Schaffung zusätzlicher Sorptionsplätze ➤ prinzipiell zur Abschätzung der Sickerwasserkonzentration geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ größere Transportmengen ➤ erhöhter Aufwand für Versuchsdurchführung durch große Probenmenge ➤ Einfluss auf STV-Freisetzungspotenzial durch subjektives Rühren möglich, dadurch ggf. eingeschränkte Reproduzierbarkeit 	Anwendung in Kombination mit S4-Eluat möglich. Vergleichbarkeit der Werte mit Ort der Beurteilung noch ungeklärt.

Methoden	Vorteile	Nachteile	Bewertung
Muldeneluat (ca. 6:1) (Mulden ohne Ablauf)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ realitätsnahes Wasser-/Feststoffverhältnis ➤ theoretisch hohe Nachweisstärke für STV ➤ geringe Schaffung zusätzlicher Sorptionsplätze ➤ erhöhte Repräsentativität durch große Probenmenge 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ aufwändig; mit zusätzlichen Probenahmekosten verbunden ➤ nur bedingt zur Abschätzung der Sickerwasserkonzentration geeignet 	Anwendung nicht empfohlen.
Zylinder- versuche	<ul style="list-style-type: none"> ➤ realitätsnahes Wasser-/Feststoffverhältnis ➤ sehr hohe Empfindlichkeit, insbesondere für Hexogen ➤ nur geringe Schaffung zusätzlicher Sorptionsplätze ➤ erhöhte Repräsentativität durch große Probenmenge 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ gestörte Bodenverhältnisse führen zu überhöhten Konzentrationen ➤ unrealistische Bewässerungsraten führen vermutlich zu Mehrbefunden ➤ erhöhter Aufwand für Versuchsdurchführung durch große Probenmenge ➤ Reproduzierbarkeit bisher nicht geprüft 	Generelle Anwendung nicht empfohlen; ggf. bei Detektionsschwierigkeiten von Hexogen einsetzbar.

6.4.3 Empfohlener Parameterumfang

Für die Untersuchung der Originalsubstanz und von Eluaten sowie von Sicker- und Grundwasser wird bezüglich der relevanten Sprengstofftypischen und Pulvertypischen Verbindungen der in nachfolgender Tabelle zusammengestellte Parameterumfang empfohlen. Auf die in **Anhang 2.7** zu den Einzelparametern gegebenen Hinweise wird verwiesen.

Untersuchungen auf Mononitrosohexogen (MNX), 2,4-Diamino-6-Nitrotoluol (DANT) sowie 3,5-Dinitroanilin sind im Rahmen der OU nicht zwingend erforderlich.

Nitroguanidin (Nigu, NQ) findet in Eluat- und Wasserproben keine Berücksichtigung, da es mittels Festphasenextraktion nicht hinreichend gut bestimmbar ist.

Sollten in den Eluaten oder im Grundwasser große Mengen an TNT nachgewiesen werden, wäre zu prüfen, ob ggf. der Parameterumfang auf die TNT-Abbauprodukte „Polare Nitroaromaten“ erweitert werden sollte (Anhang 2.7). Bei erheblichen Konzentrationen an Hexogen in den Eluaten oder im Grundwasser und gleichzeitig reduzierenden Bedingungen sollten auch Hexogenabbauprodukte (z. B. MNX) bestimmt werden. In der Regel handelt es sich hierbei um eine einmalige Erweiterung des Untersuchungsumfangs zur Charakterisierung der standortspezifisch wirkenden Abbaumechanismen.

Bei den Untersuchungen von Sprengplätzen ergaben sich bisher keine Hinweise auf erhöhte Feststoffgehalte an Schwermetallen oder PAK. Sofern in Bodenproben keine organoleptischen Hinweise vorliegen, wird es als ausreichend erachtet, diese Parameter nur im Schicht-/Sickerwasser und im Grundwasser zu untersuchen.

Liegen Auffüllungen mit Fremdmaterial vor, ist im Einzelfall zu entscheiden, um welche Parameter der Untersuchungsumfang ggf. zu erweitern ist.

Zur Ermittlung der Gesamtstoffgehalte für den Pfad Boden-Mensch kann der Methanolextrakt trotz der genannten Anfälligkeiten (vgl. Kap. 6.4.1) angewandt werden. Alternativ kann der Gesamtstoffgehalt an STV auch über die Rückrechnung aus den im S4-Eluat ermittelten Konzentrationen erfolgen [455].

6.5 Erkundung von Offenen Kampfmitteln

Low-order-detonierte und durch die Sprengwirkung zerbrochene Granaten waren eine der Folgen der massendetonativen Umsetzungen der Munitionsbestände nach dem 2. Weltkrieg. Ein Teil dieser Kampfmittel kann trotz der nachfolgenden Räumungen auch heute noch im Streugebiet von Sprengplätzen vorhanden sein. Prinzipiell können auch Trichter diesen Munitionstyp enthalten. Die Munitionsmengen in den Trichtern sind vermutlich geringer, da Trichter im Regelfall intensiver geräumt wurden als das Streugebiet.

Untersuchungen im Rahmen der **Gefährdungsabschätzung für Streugebiete** (Anhangs 2.4) konnten zeigen, dass sich auch bei nur kurzzeitigem Kontakt von Niederschlags- bzw. Sickerwasser mit offenem Sprengstoff hohe STV-Konzentrationen im Bereich einiger mg/l einstellen. Für offen liegenden Sprengstoff in Munitionsresten wurde bei einer Grundwasserneubildung von 300 l/(m²•a) ein jährlicher Austrag von 0,4 bis 5,3 g STV pro Quadratmeter offen liegender Sprengstoffoberfläche ermittelt. Testsondierungen auf zwei ausgewählten Sprengplätzen ergaben trotz erheblicher Unterschiede bei den gefundenen Munitionstypen ähnliche Ergebnisse. Pro Tonne an prognostizierter Streumunition wurden offen liegende Sprengstoffoberflächen zwischen 0,14 und 0,16 m² berechnet. Sprengplätze mit geringer Kampfmittelbelastung im Streugebiet (wenige Tonnen) erzeugen nur geringe Frachten an STV in der Größenordnung von wenigen zehn Gramm pro Jahr. Bei Kampfmittelbelastung im zwei bis dreistelligen Tonnagebereich können Frachten von mehreren hundert Gramm pro Jahr erreicht werden.

Tab. 3: Untersuchungsmethoden und Parameterumfang

Oberflächenmischproben vom Auswurfbereich einschließlich Oberflächen verfüllter Trichter	Oberflächenmischproben von unverfüllten Sprengtrichtern	Schürfproben von verfüllten Sprengtrichtern
Methanolextrakt	Methanolextrakt	
S4-Eluat	S4-Eluat	S4-Eluat
ggf. in Ergänzung 1:1-Wanneneluat mit 5 – 20 kg Boden	ggf. in Ergänzung 1:1-Wanneneluat mit 5 – 20 kg Boden	ggf. in Ergänzung 1:1-Wanneneluat mit 5 – 20 kg Boden
Empfohlener Parameterumfang STV		
Boden (Methanolextrakt)	Eluat (S4 1:10 / Wanneneluat 1:1)	Schicht-/Sickerwasser und Grundwasser
Hexogen (RDX)	Hexogen (RDX)	Hexogen (RDX)
Oktogen (HMX)	Oktogen (HMX)	Oktogen (HMX)
Mononitrosohexogen (MNX)	Mononitrosohexogen (MNX)	Mononitrosohexogen (MNX)
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)
2-A-4,6-Dinitrotoluol (ADNT)	2-A-4,6-Dinitrotoluol (ADNT)	2-A-4,6-Dinitrotoluol (ADNT)
4-A-2,6-Dinitrotoluol (ADNT)	4-A-2,6-Dinitrotoluol (ADNT)	4-A-2,6-Dinitrotoluol (ADNT)
2,4-DA-6-Nitrotoluol (DANT)	2,4-DA-6-Nitrotoluol (DANT)	2,4-DA-6-Nitrotoluol (DANT)
Nitropenta (PETN)	Nitropenta (PETN)	Nitropenta (PETN)
Tetryl	Tetryl	Tetryl
		Pikrinsäure
1,3-Dinitrobenzol (DNB)	1,3-Dinitrobenzol (DNB)	1,3-Dinitrobenzol (DNB)
1,3,5-Trinitrobenzol (TNB)	1,3,5-Trinitrobenzol (TNB)	1,3,5-Trinitrobenzol (TNB)
3,5-Dinitroanilin (3,5-DNA)	3,5-Dinitroanilin (3,5-DNA)	3,5-Dinitroanilin (3,5-DNA)
Empfohlener Parameterumfang PTV		
Boden (Methanolextrakt)	Eluat (S4 / Wanneneluat 1:1)	Schicht-/Sickerwasser und Grundwasser
Nitroglycerin (Ngl)	Nitroglycerin (Ngl)	Nitroglycerin (Ngl)
Diethylenglycoldinitrat (DEGDN)	Diethylenglycoldinitrat (DEGDN)	Diethylenglycoldinitrat (DEGDN)
Nitroguanidin (NQ)		
Diphenylamin (DPA)	Diphenylamin (DPA)	Diphenylamin (DPA)
2,4-Dinitrotoluol (2,4-DNT)	2,4-Dinitrotoluol (2,4-DNT)	2,4-Dinitrotoluol (2,4-DNT)
2,6-Dinitrotoluol (2,6-DNT)	2,6-Dinitrotoluol (2,6-DNT)	2,6-Dinitrotoluol (2,6-DNT)
Dimethyl-, Diethyl-, Dipropyl-, Dibuthyl- und Ethylhexylphthalat (DMP, DEP, DPP, DBP, EHP)	Dimethyl-, Diethyl-, Dipropyl-, Dibuthyl- und Ethylhexylphthalat (DMP, DEP, DPP, DBP, EHP)	Dimethyl-, Diethyl-, Dipropyl-, Dibuthyl- und Ethylhexylphthalat (DMP, DEP, DPP, DBP, EHP)
Empfohlene Sonstige Parameter		
Boden	Eluat	Schicht-/Sickerwasser und Grundwasser
		Schwermetalle, PAK

Das Emissionspotenzial eines Sprengplatzes ist daher zusätzlich zu den freigesetzten partikelförmigen Sprengstoffrückständen, die durch die Untersuchung des Auswurfbereichs und der Trichter(-rückverfüllungen) erkundet werden, auch von der Menge an Streumunition abhängig, die heute noch auf einem Platz vorhanden ist bzw. von ihrem Anteil an aufgebrochenen Kampfmitteln mit offen liegenden Sprengstoffoberflächen.

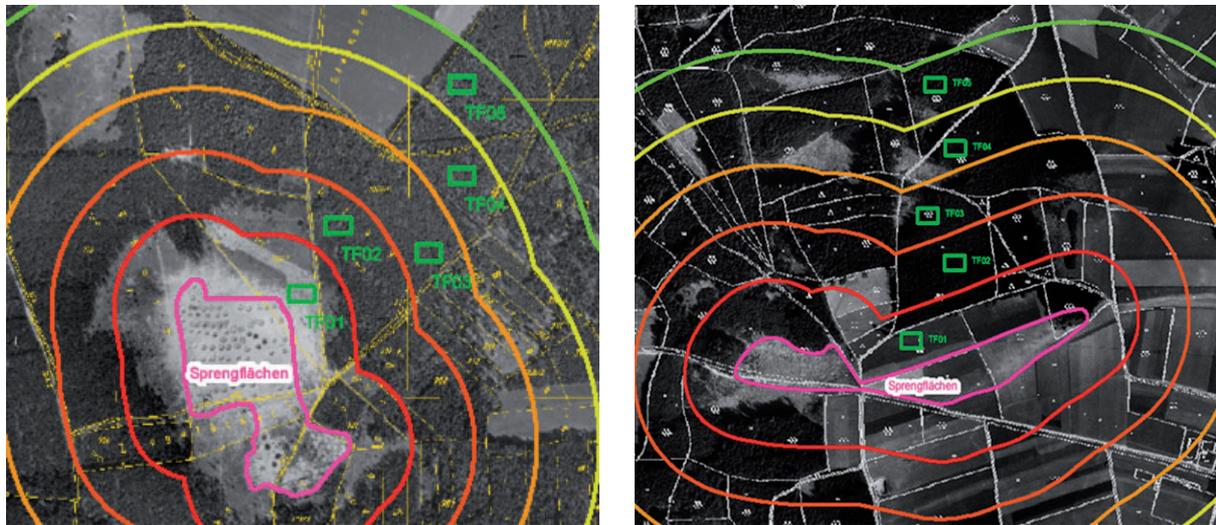


Abb. 45: Exemplarische Anordnung von Testflächen (TF) zur Bestimmung der Kampfmittelbelastung und des Anteils an aufgebrochenen Kampfmitteln mit offenen Sprengstoffoberflächen auf zwei Sprengplätzen (unmaßstäblich). Die Testflächen sind je 1.000 m² groß. Die Grundlage bilden Luftaufnahmen von 1952.

Zur Abklärung des Verdachts müssen unter Aufsicht eines Munitionsfachkundigen **Testsondierungen** durchgeführt werden, um den Anteil von Streumunition bzw. aufgebrochenen Kampfmitteln näherungsweise zu ermitteln. Der für die Sondierungen erforderliche Zeitaufwand ist abhängig von der Anomaliendichte und schwer prognostizierbar. Bei der Ausschreibung ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den Testsondierungen um nicht hinreichend genau beschreibbare Leistungen handelt. Für eine erste Kalkulation kann von einer Tagesleistung von 1.000 m² ausgegangen werden.

Für die Testsondierungen werden im GIS zunächst fünf Pufferzonen im Radius von 100 m bis 500 m um das Sprengfeld definiert und je Zone eine 1.000 m² große Fläche für Testsondierungen (TF1–TF5) festgelegt. Die Testflächen sollten nach Möglichkeit im Wald angelegt werden, da dort die „munitionstechnische Unberührtheit“ eher gewährleistet ist. Mittels DGPS werden die Eckpunkte der Flächen im Vorgriff auf die Feldarbeiten in die Natur übertragen und mit Trassierungsband markiert. Hinsichtlich der Lage der Testflächen sollte sich der Sachverständige mit dem staatlichen Kampfmittelbeseitigungsdienst oder der zuständigen Behörde abstimmen. Zudem sollte geklärt werden, ob und wo bereits in der Vergangenheit Testfeldsondierungen durchgeführt wurden.

Die Testflächen der Untersuchungen dürfen sich nicht mit früheren Sondierflächen überschneiden, da sonst eine nicht repräsentative Kampfmittelbelastung erhalten wird.

Die Munitionssuche erfolgt auf der üblichen Suchstufe. Die Suchstreifenbreite sollte 1 m betragen. Zur Orientierung können Fluchtstangen bzw. parallel gespannte Schnüre dienen. Alle Anomalien sind aufzugraben und zusammen mit dem Munitionsfachkundigen den Kategorien „Munition“, „Munitionsteile“ und „Splitter“ zuzuordnen. Alle Fundstücke sind zu zählen und sofern es der Sicherheitsaspekt zulässt von Erde zu befreien und zu wiegen. Splitter werden durch Abklopfen mit einem nicht Funken reißenden Werkzeug weitgehend von Erde befreit, so dass visuell sichtbare Sprengstoffanhaftungen ausgeschlossen werden können.

Tab. 4: Vorlage zur Erfassung von Kampfmitteln und offen liegendem Sprengstoff auf Testflächen (TF)

Testfläche TF		Größe 1.000 m ²		Größe Gesamtpufferzone TF		[m ²]		
Munition								
Typ / Kaliber	Gewicht [kg]	Anzahl	Ges. Gewicht [kg]	Ursprung	bezündert	handhabungssicher	Bemerkung	
Summe								
Munitionsteile								
Summe								
Splitter								
Summe								
davon Munition und Munitionsteile mit offenen Sprengstoffoberflächen								
Typ	Gewicht	cm ² offen liegender Sprengstoff		Bemerkung				
Gesamt								
Gesamtprognose für die Testfläche TF		Kampfmittel (Munition und Munitionsteile)			[t]	Fläche offen liegender Sprengstoff		[m ²]

Im Anschluss erfolgt die Erfassung der Fundstücke analog der Vorgehensweise für rückverfüllte Sprengtrichter (vgl. Kap. 6.3.2). Durch Hochrechnung von der 1.000 m² großen Testfläche auf die jeweilige Gesamtpufferzone können die Belastungen an Kampfmitteln (Summe aus Munition und Munitionsteilen) und die Gesamtfläche an offen liegendem Sprengstoff in der jeweiligen Gesamtpufferzone abgeschätzt werden.

Durch die Addition der prognostizierten Mengen für die fünf Gesamtpufferzonen ergibt sich die Kampfmittelprognose in [t] für das gesamte Streugebiet des Platzes und die Gesamtfläche an offen liegendem Sprengstoff in [m²]. Der daraus ermittelte Quotient ermöglicht einen Vergleich von Streugebietern verschiedener Sprengplätze hinsichtlich ihres Gefährdungspotenzials. Es ist zu betonen, dass es sich um eine ungefähre Abschätzung handelt, die in hohem Maß von der Repräsentativität der Testflächen und der gefundenen Kampfmittel abhängt. Genauere Vorhersagen können nur durch Erhöhung der Anzahl der Testflächen erreicht werden.

Zur Abschätzung der möglichen freisetzbaren STV-Frachten aus offenen Kampfmitteln wird im Rahmen der Untersuchungsstufe 2 eine Best-Case- und eine Worst-Case-Betrachtung empfohlen. Durch die Testfeldsondierungen wurde die Gesamtfläche an offenen Sprengstoffoberflächen im Streugebiet des Sprengplatzes in m² prognostiziert. Dieser Wert wird im Best-Case mit der Freisetzungsmenge von 0,4 g/a multipliziert. Dies ist die niedrigste versuchstechnisch ermittelte Fracht an STV, die pro m² offen liegendem Sprengstoff pro Jahr freigesetzt wird, wenn eine Grundwasserneubildungsrate von 300 l/m² zu Grunde gelegt wird (Kap. 3.4 bzw. Anhang 2.4). Für den Worst-Case kann von der doppelten Größe der ermittelten offen liegenden Sprengstoffoberfläche und einer Fracht von 5,3 g pro m² offen liegendem Sprengstoff ausgegangen werden. Dies ist die höchste Fracht, die auf Basis der Laborversuche prognostiziert wurde. Die theoretischen Frachtbetrachtungen beziehen sich auf TNT, da dies in der Regel den Hauptschadstoffparameter darstellt.

Größe der Gesamtpufferzone	Kampfmittelprognose [t]	Prognose offen liegender Sprengstoff [m ²]
TF1		
TF2		
TF3		
TF4		
TF5		
Summe Streugebiet gesamt		
	Die im Rahmen der Arbeitshilfe erkundeten beiden Sprengplätze ergaben Werte von 0,14 und 0,16 m ² offen liegender Sprengstoffoberfläche pro Tonne prognostizierter Kampfmittel	

Tab. 5:
Zusammenstellung der Prognosen für die einzelnen Testflächen

6.6 Ergänzende Grundwasseruntersuchung

Sofern der Altlastverdacht durch Bodenuntersuchungen im Sprengfeld bzw. durch die Sickerwasserprognose für offene Kampfmittel im Streugebiet nicht bestätigt werden konnte, sollte vor der endgültigen Entlassung des Sprengplatzes aus dem Altlastverdacht – in Abhängigkeit der hydrogeologischen Verhältnisse – eine Grundwassermessstelle gebaut und die mehrmalige Untersuchung des Grundwassers über einen längeren Zeitraum (mindestens zwölf Monate) durchgeführt werden. Der Bau ei-

ner Grundwassermessstelle kann optional auch im Rahmen der Untersuchungsstufe 1 oder 2 erfolgen (vgl. Kap. 5).

Die Messstelle sollte – sofern möglich – im zentralen Bereich des Sprengfeldes bzw. des Streugebietes platziert werden. Es ist im Einzelfall zu prüfen, inwieweit Messstellen oder Quellaustritte, die in größerer Entfernung zum Sprengplatz liegen, auf Grund von Verdünnungseffekten in die Beurteilung einbezogen werden können.

Die Untersuchung des Anstroms – wie bei konventionellen Altlasten üblich – ist bei Sprengplätzen im Regelfall nicht erforderlich. Nur bei Sprengplätzen, die in unmittelbarer Umgebung zu ehemaligen Sprengstoffherstellungsbetrieben oder Füllstellen liegen, sind weitere Eintragsquellen an Sprengstofftypischen Verbindungen möglich. Dies trifft für die bayerischen Standorte nicht zu.

Es ist im Einzelfall zu entscheiden, ob eine im Sprengfeld bzw. im Streugebiet errichtete Grundwassermessstelle als repräsentativ angesehen werden kann. Ggf. sind weitere Messstellen zu errichten.

6.7 Gefährdungsabschätzung Orientierende Untersuchung

6.7.1 Wirkungspfad Boden–Mensch

Der Ständige Ausschuss Altlasten der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hat in einem Informationsblatt für den Vollzug Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten erarbeitet [455]. Das Informationsblatt enthält in Ergänzung der bisherigen Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) unter anderem für einige rüstungsspezifische Parameter „Prüfwert-Vorschläge“ und „Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte“.

Diese Werte, die zur Aufnahme in die überarbeitete BBodSchV vorgesehen sind, sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Die meisten Sprengplätze liegen heute auf landwirtschaftlich genutzten Flächen oder im Wald. Welches Nutzungsszenarien für den Pfad Boden–Mensch anzusetzen ist, muss im jeweiligen Einzelfall entschieden werden.

Die üblicherweise im oberflächennahen Bereich der Trichter bzw. im Bereich der Auswurfmassen auf Sprengplätzen zu erwartenden Konzentrationen an Explosivstofftypischen Verbindungen unterschreiten die „Prüfwert-Vorschläge“ bzw. die „Behelfsmäßigen Bodenorientierungswerte“ in der Regel sehr deutlich. Eine Gefährdung über diesen Pfad ist im Allgemeinen nicht zu erwarten. Sofern dennoch Überschreitungen festgestellt werden, ist die Repräsentativität des Ergebnisses durch die Untersuchung von Rückstellproben zu überprüfen.

Tab. 6: Für Sprengplätze relevante „Prüfwert-Vorschläge“ und „Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte“ (in Klammern) Angaben in [mg/kg] [455]

Parameter	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbegrund- stücke
Hexogen	100	200	500	500
Oktofen	unpraktikabel hoch (g/kg-Bereich)			
2,4,6-Trinitrotoluol	20	40	100	200
Nitropenta (PETN)	500	1000	2500	5000
Tetryl	(200)	(400)	(1000)	(2000)
Pikrinsäure	(8)	(15)	(40)	(80)
Hexyl	150	300	750	1500
1,3-Dinitrobenzol	(15)	(30)	(75)	(150)
4-Amino-2,6- dinitrotoluol	(20)	(40)	(100)	(200)
2-Amino-4,6- dinitrotoluol	(20)	(40)	(100)	(200)
1,3,5-Trinitrobenzol	unpraktikabel hoch (g/kg-Bereich)			
2,4-Dinitrotoluol	3	6	15	50
2,6-Dinitrotoluol	0,2	0,4	1	5
Diphenylamin	unpraktikabel hoch (g/kg-Bereich)			
Für die im empfohlenen Parameterumfang (Tab. 3) genannten Einzelstoffe 3,5-Dinitroanilin, Mononitrosohexogen, Nitroglycerin, DEGDN, Nitroguanidin und Phthalate liegen keine entsprechenden Beurteilungswerte vor.				

6.7.2 Wirkungspfad Boden–Grundwasser (Sickerwasserprognose)

Sprengtrichter sind bei Sprengplätzen als Hauptschadstoffquellen anzusehen; sie befinden sich fast immer in der ungesättigten Bodenzone. Stoffeinträge aus dem ungesättigten Bereich über das Sickerwasser in das Grundwasser sind am Ort der Beurteilung zu bewerten. Zur bundeseinheitlichen Bewertung von Grundwasserverunreinigungen hat die LAWA im Jahr 2004 für das Grundwasser die Geringfügigkeitsschwellen (GFS) eingeführt. Die GFS-Werte können, auch entsprechend den Ausführungen des LfW-Merkblatts 3.8/1, für das Sickerwasser als Prüfwert am Ort der Beurteilung herangezogen werden.

Die für Sprengplätze relevanten Geringfügigkeitsschwellen bzw. die vorläufigen GFS des LfU sind in Tab. 7 zusammengestellt. Sofern STV-Parameter auftreten, für die noch keine Geringfügigkeitsschwellen existieren, sind diese im Einzelfall mit dem LfU abzustimmen.

Im Rahmen der OU muss für den **Wirkungspfad Boden–Grundwasser** die Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung auf der Grundlage der Untersuchungen von Material-, Sicker- oder Grundwasserproben abgeschätzt werden. Für Sprengplätze kann im Rahmen der OU vereinfachend der ungünstigste Fall angenommen werden, dass die ungesättigte Bodenzone nicht zu einer Verminderung der Schadstoffkonzentration beiträgt. Die in den Eluat- oder im Schicht-/Sickerwasser eines Trichters ermittelten STV-Konzentrationen können daher mit der Konzentration am Ort der Beurteilung annähernd gleichgesetzt werden.

Tab. 7: Geringfügigkeitsschwellen zur Beurteilung von Sicker- bzw. Grundwasser

Parameter	[µg/l]	Parameter	[µg/l]
Hexogen (RDX)	1	1,3,5-Trinitrobenzol	100
Oktogen	175	2,4-Dinitrotoluol	0,05
2,4,6-Trinitrotoluol	0,2	2,6-Dinitrotoluol	0,05
Nitropenta (PETN)	10	Diphenylamin ¹⁾	0,05
Tetryl	5	3,5-Dinitroanilin ¹⁾	0,1
Pikrinsäure	0,2	Mononitrosohexogen (MNX) ¹⁾	0,1
Hexyl	2	Nitroglycerin ¹⁾	1
1,3-Dinitrobenzol	0,3	DEGDN ¹⁾	0,15
4-Amino-2,6-dinitrotoluol	0,2	Nitroguanidin ¹⁾	300
2-Amino-4,6-dinitrotoluol	0,2	Phthalate ¹⁾	8

1) vorläufige GFS (LfU 2009)

Liegt in einem Eluat eine Prüfwertüberschreitung vor und ist der Messwert plausibel, so wurde nach § 3 Abs. 4 BBodSchV der Verdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung hinreichend bestätigt. Gleichzeitig liegen Anhaltspunkte für eine Grundwassergefährdung vor.

6.7.2.1 Auswurfbereiche

Wird in den Auswurfbereichen im Rahmen der Untersuchungsstufe 1 in nur einem Eluat die Geringfügigkeitsschwelle eines STV-Parameters überschritten, ist der Verdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderungen hinreichend bestätigt und es ist eine Detailuntersuchung durchzuführen.

6.7.2.2 Sprengtrichter

Wird im Rahmen der Untersuchungsstufe 1 in den Sprengtrichtern in nur einem Eluat die Geringfügigkeitsschwelle eines STV-Parameters überschritten, ist der Verdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderungen hinreichend bestätigt und es ist eine Detailuntersuchung durchzuführen. Dies gilt auch, wenn in einem Sprengtrichter Schichtwasser angetroffen wird, bei dem bei einem oder mehreren Parametern die Geringfügigkeitsschwelle überschritten wird.

6.7.2.3 Offene Kampfmittel

Zur Erkundung der Gefahren von Kampfmitteln mit offenen Sprengstoffoberflächen wurden im Rahmen der Untersuchungsstufe 2 eine Best-Case- und eine Worst-Case-Betrachtung der potenziell freisetzbaren STV- bzw. TNT-Frachten durchgeführt (vgl. Kap. 6.5). Für die Sickerwasserprognose ist die TNT-Fracht der Worst-Case-Betrachtung rechnerisch in der Grundwassermenge zu lösen, die pro Jahr im Streugebiet gebildet wird. Errechnet sich daraus eine Überschreitung der Geringfügigkeitsschwelle am Ort der Beurteilung, ist der Verdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung hinreichend bestätigt und es muss eine DU erfolgen. Dies kann entsprechend den Annahmen in **Anhang 2.4** (Kap. 4) für einen Streubereich mit Radius 500 m bereits bei einer TNT-Jahresfracht von ca. 50 g der Fall sein.

6.7.2.4 Grundwasseruntersuchungen

Werden im Grundwasser Überschreitungen der Geringfügigkeitsschwelle für einen STV-/PTV-Parameter festgestellt, so liegt auch eine Überschreitung der Geringfügigkeitsschwelle im Sickerwasser am Ort der Beurteilung vor. Der Verdacht hinsichtlich einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung ist somit hinreichend bestätigt.

Abhängig von der Position der Messstelle kann im Regelfall der Verdacht auch als hinreichend bestätigt angesehen werden, wenn die Konzentrationen an STV im Grundwasser über der Bestimmungsgrenze jedoch unter der Geringfügigkeitsschwelle liegen, da im Grundwasser im Regelfall eine Verdünnung des eingetragenen Sickerwassers erfolgt. Zudem liegen die Geringfügigkeitsschwellen bei den relevanten STV-Parametern TNT, ADNT und RDX nur geringfügig über den üblichen Bestimmungsgrenzen.

Liegen bei mehrmaligen Beprobungen die STV-/PTV-Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze, so ist der Standort nach einer Plausibilitätsprüfung aus dem Verdacht zu entlassen. Hierbei sind absehbare künftige Änderungen der Rahmenbedingungen für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser zu berücksichtigen.

Wir weisen darauf hin, dass die Entlassung aus dem Altlastverdacht nicht den sicherheitstechnischen Aspekt der ggf. vorhandenen Kampfmittel betrifft.

7 Detailuntersuchung (DU)

7.1 Ergänzender Untersuchungsbedarf

Zur abschließenden Bewertung der Gefahren ist für den Pfad Boden–Grundwasser nach § 4 Abs. 3 BBodSchV im Rahmen der DU eine Sickerwasserprognose zu erstellen, in der die von einer schädlichen Bodenveränderung ausgehenden oder in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Schadstoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser, unter Berücksichtigung von **Konzentrationen und Frachten** und bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone abgeschätzt werden (§ 2 Nr. 5 BBodSchV). Diese abschließende Gefährdungsabschätzung muss auch abklären, ob eine erhebliche Grundwasserverunreinigung eintreten kann oder bereits vorliegt. Grundlage hierfür ist, in Verbindung mit weiteren Grundwasseruntersuchungen, die **Sickerwasserprognose**, die bei Sprengplätzen alle **Teilfrachten** – „Auswurfbereiche“, „Sprengtrichter“, „lose Sprengstoffbrocken“ und „offene Kampfmittel“ – berücksichtigen muss.

Für die Sickerwasserprognose sind daher repräsentative Ergebnisse, die den Sprengplatz in seiner Gesamtheit widerspiegeln, von zentraler Bedeutung. Dies setzt insbesondere bei den Auswurfbereichen und bei den Sprengtrichtern einen **Mindestuntersuchungsumfang** voraus. Da die Kontaminationsquellen heterogen im Boden verteilte Sprengstoffpartikel sind und stichpunktartige Untersuchungen – wie sie ggf. im Rahmen der OU durchgeführt worden sind – im Regelfall keine für eine abschließende Gefährdungsabschätzung hinreichend belastbare Ergebnislage ermöglichen, werden in Abhängigkeit von der Untersuchungsintensität der bereits durchgeführten OU im Rahmen der DU ergänzende Untersuchungen erforderlich. Entsprechend den Erkenntnissen aus der OU ist auch der Parameterumfang anzupassen.

Die im Rahmen der DU gewonnenen Daten müssen die Beurteilung ermöglichen, ob Maßnahmen zur Gefahrenabwehr, d.h. Sanierungsmaßnahmen und/oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen erforderlich sind.

7.1.1 Auswurfbereiche

Sofern die Auswurfbereiche im Rahmen der OU nur stichpunktartig überprüft wurden, sind in der Regel weitere Beprobungen erforderlich, welche die Auswurfbereiche in ihrer Gesamtheit erfassen. Es gelten die unter Kapitel 6.2 genannten Empfehlungen.

Wurde im Rahmen der OU der Verdacht für bestimmte Auswurfbereiche bestätigt, sollte in der DU die radiale Erstreckung der vorgefundenen Belastungen durch weitere Oberflächenmischproben abgegrenzt werden.

7.1.2 Sprengtrichter

Ein Sprengfeld ist im Rahmen der DU erst dann als hinreichend genau erkundet anzusehen, wenn bei kleinen und mittleren Plätzen (Kategorien S und M) mindestens 50 % und bei großen Sprengplätzen (Kategorien L und XL) mindestens 20 % der insgesamt lokalisierbaren Sprengtrichter geöffnet und beprobt worden sind.

Sofern die Trichter im Rahmen der OU bisher nur stichpunktartig überprüft wurden, sind weitere Beprobungen entsprechend den Vorgaben unter Kap. 6.3 erforderlich.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Trichter ist zu empfehlen, verschieden große oder in ihrer Erscheinungsform unterschiedliche Trichter zu berücksichtigen, um erkundungstechnisch einen repräsentativen Gesamteindruck zu erhalten. Basiert die Entscheidung auf geomagnetischen Untersuchungen, so sollten Trichter mit unterschiedlichen geomagnetischen Signaturen geöffnet werden.

Eine „Eingrenzung“ der im Rahmen einer OU festgestellten Belastungen – wie bei konventionellen Altlasten üblich – ist bei Sprengtrichtern im Regelfall nicht sinnvoll, da es sich um heterogen verteilte Schadstoffe ohne kleinräumig abgrenzbare Schadensbereiche handelt.

7.1.3 Lose Sprengstoffbrocken

Die massendetonative Umsetzung von Munition auf den Nachkriegssprengplätzen zeichnet sich durch einen erhöhten Anteil an Low-Order-Detonationen aus. Dies hat in verstärktem Umfang zur Bildung von partikulären Rückständen geführt. Diese können ein erhebliches Gefährdungspotenzial für das Grundwasser aufweisen.

Generell ist anzunehmen, dass sich Brocken bevorzugt bilden, wenn großkalibrige Sprengmunition vernichtet wird. Dagegen sollten Brocken auf Plätzen, auf denen vorrangig panzerbrechende Munition oder Kleinmunition (z. B. panzerbrechende Bordwaffenmunition) vernichtet worden ist, nur von untergeordneter Bedeutung sein. Ihr prinzipielles Vorkommen und ihre Bedeutung am Gesamtgefährdungspotenzial eines Sprengplatzes kann daher platzspezifisch sein.

Bisher ist nicht definiert, bis zu welcher Größe Sprengstoffrückstände als „Brocken“ zu bezeichnen sind. Da vermutlich ein eher fließender Übergang zwischen mikroskopisch kleinen und makroskopisch großen Partikeln gegeben ist (vgl. Abb. 46 und Abb. 47), erscheint es sinnvoll, von „Sprengstoffbrocken“ zu sprechen, wenn die Rückstände mit dem bloßen Auge wahrnehmbar sind.

Sprengstoffbrocken können prinzipiell in den Trichterrückverfüllungen und im Auswurfbereich vorkommen. Bei Sprengplätzen auf sandigem Untergrund ohne dichten Bodenbewuchs sind Sprengstoffbrocken im Auswurfbereich (oder in unverfüllten Trichtern) u. U. zu erkennen. Hier könnte der Anteil ggf. auf Grund des visuellen Befunds abgeschätzt werden. Bei lehmigem und kiesigem Untergrund sowie im Wald oder bei landwirtschaftlicher Nutzung ist ein visuelles Erkennen dagegen meist nicht möglich.



Abb. 46: TNT-Sprengstoffbrocken (chunks), eingesammelt auf einer 10x10 m großen Fläche im Umgriff eines Hartziels. Derartige Rückstände sind z.T. auch auf deutschen Sprengplätzen bei Böden mit wenig Bewuchs aufzufinden.



Abb. 47: Mikroskopische Darstellung von partikelförmigen TNT-Rückständen (flakes). Die Größen der Bröckchen liegt unter 1 mm.

Wurden in Eluaten aus Sprengtrichtern oder in Eluaten aus den Auswurfbereichen STV nachgewiesen, ist davon auszugehen, dass mikroskopisch kleine Rückstände und damit auch makroskopisch

große Sprengstoffbrocken vorhanden sind. In diesem Fall sind die Einträge aus Sprengstoffbrocken bei der abschließenden Bewertung zu berücksichtigen. Die Abschätzung für Sprengstoffbrocken muss auf Basis des erweiterten Kenntnisstands der DU angepasst und wesentlich auch unter Einbindung der Ergebnisse der durchzuführenden Grundwasseruntersuchungen (Kap. 7.1.5) auf Plausibilität geprüft werden. Die Vorgehensweise ist in Kap. 7.2.3 beschrieben.

7.1.4 Offene Kampfmittel

Zur Erkundung der Gefahren aus Kampfmitteln mit offenen Sprengstoffoberflächen sind Sondierungen auf fünf je 1.000 m² großen Testfeldern im Abstand von 100 bis 500 m um den Rand des Sprengfelds durchzuführen (vgl. Kap. 6.5). Dieser Untersuchungsumfang ist unabhängig vom Zeitpunkt der Ausführung der Untersuchungen (OU oder DU).

Im Rahmen der DU sollten die Ergebnisse der Testfeldsondierungen mit dem Munitionsprofil des Sprengplatzes abgeglichen und die Plausibilität der bisher durchgeführten Untersuchungen wesentlich auch unter Einbindung der Ergebnisse der durchzuführenden Grundwasseruntersuchungen (Kap. 7.1.5) geprüft werden. Ggf. sind zur Überprüfung der Repräsentativität der bisherigen Ergebnisse weitere Testflächen durch geomagnetische Sondierungen zu erkunden.

7.1.5 Ergänzende Grundwasseruntersuchungen

Im Rahmen der Detailuntersuchung ist eine abschließende Bewertung der Grundwassersituation vorzunehmen. Hierzu können der Bau weiterer Grundwassermessstellen zur Abgrenzung der räumlichen Ausdehnung ggf. festgestellter Grundwasserverunreinigungen sowie weitere Grundwasseruntersuchungen erforderlich werden. Der Umfang kann nur einzelfallspezifisch festgelegt werden.

Auch eine tiefenhorizontierte Beprobung des Grundwassers kann für die weitere Abklärung des Schadensbildes von Nutzen sein.

Sofern im Grundwasser erhöhte Gehalte an Nitroaromaten nachgewiesen werden, kann eine ergänzende Untersuchung auf polare Nitroaromaten dazu beitragen, die standortspezifisch wirkenden Abbaumechanismen zu charakterisieren. Dies gilt auch bei erhöhten Hexogenkonzentrationen und gleichzeitig reduzierenden Bedingungen (Sauerstoffgehalt < 3 mg/l) im Grundwasser [483] für Untersuchungen auf Hexogenabbauprodukte (z. B. MNX).

Sofern in begründeten Einzelfällen (z. B. Plätze der Kategorie S) aufgrund geringer Frachten und der hydrogeologischen Gegebenheiten (z. B. Karstgrundwasserleiter) eine erhebliche Grundwasserverunreinigung ausgeschlossen werden kann, ist die Notwendigkeit einer Grundwassermessstelle zu prüfen.

7.2 Gefährdungsabschätzung DU – Frachtbetrachtung

7.2.1 Auswurfbereiche

Die Frachten aus Auswurfbereichen und Sprengtrichtern werden generell an Hand der Flächengröße der kontaminierten Bereiche [m²], der Eluatkonzentration [µg/l] und der jährlichen Grundwasserneubildungsrate [l/m²] ermittelt.

Die Größen der belasteten Flächen werden aus dem GIS entnommen. Die Sickerwassermengen, die im Bereich der Trichter eingetragen werden, sind nicht Bestandteil dieser Teilprognose sondern werden bei der Sickerwasserprognose für die Trichter berücksichtigt. Die ermittelten jährlichen Austragsmengen der einzelnen Auswurfbereiche werden aufaddiert.

7.2.2 Sprengtrichter

7.2.2.1 Unverfüllte Sprengtrichter

Sofern nicht alle der insgesamt vorhandenen unverfüllten Trichter erkundet wurden und sich alle erkundeten Trichter als belastet erwiesen haben, ist davon auszugehen, dass auch die nicht erkundeten Trichter in vergleichbarer Höhe belastet sind. In diesem Fall kann die Berechnung der Gesamtaustragsmenge über den Mittelwert aus den einzelnen Eluatkonzentrationen und Multiplikation mit der Gesamtfläche der Trichteroberflächen und der Jahresgrundwasserneubildungsrate erfolgen.

Sofern sich nur ein Teil der Trichter als belastet erwiesen hat, wird der prozentuale Anteil bei der Berechnung der kontaminierten Fläche in geeigneter Weise zum Ansatz gebracht.

7.2.2.2 Verfüllte Sprengtrichter

Sofern nicht alle der insgesamt vorhandenen verfüllten Trichter erkundet wurden und sich alle erkundeten Trichter als belastet erwiesen, ist davon auszugehen, dass alle Trichter belastet sind. Auch in diesem Fall erfolgt die Berechnung der Gesamtaustragsmenge über den Mittelwert aus den einzelnen Eluatkonzentrationen.

Sofern sich nur ein Teil der Trichter als belastet erwiesen hat, wird der prozentuale Anteil bei der Berechnung der kontaminierten Fläche in geeigneter Weise zum Ansatz gebracht.

Liegen parallele Ergebnisse von Wannenuelaten vor, sollten diese bei der Abschätzung der Frachten ebenfalls berücksichtigt werden.

Bisher vorliegende Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass tiefere Trichter möglicherweise höhere Konzentrationen im Schichtwasser generieren als flache. Das trifft insbesondere für den Parameter Hexogen zu und möglicherweise auch für Nitroaromaten, wenn das Adsorptionspotenzial des Bodens gering ist.

Im Regelfall spiegelt in Sprengtrichtern angetroffenes Schichtwasser die Konzentrationen am Ort der Beurteilung am ehesten wieder. Die im Schichtwasser am Trichtergrund gemessenen Konzentrationen liefern daher oft die realitätsnächste Rechengrundlage.

7.2.3 Lose Sprengstoffbrocken

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Untersuchungsverfahren bekannt, mit denen die Menge an „Brocken“ im Gelände erkundet werden kann. Somit ist derzeit nur eine indirekte Abschätzung der möglicherweise durch Brocken **allein** generierten Frachten möglich.

Eine Einbeziehung der Frachten aus Sprengstoffbrocken in die Bewertung ist nur - wie in Kapitel 7.1.3 begründet - sinnvoll, wenn bereits Kontaminationen durch STV in den Sprengtrichtern und/oder Auswurfbereichen durch die Bodenbeprobung nachgewiesen worden sind. Sofern kein entsprechender Nachweis erfolgte (vgl. Kap. 5), ist davon auszugehen, dass auch keine Sprengstoffbrocken vorliegen.

Lose Sprengstoffbrocken sind im rückverfüllten Trichter und im Auswurfbereich zu erwarten. Der Auswurfbereich wird jedoch – wie dargestellt – durch Oberflächenmischproben mittels Bohrstock erkundet. Damit können diese makroskopisch heterogen verteilten Rückstände nicht repräsentativ erfasst werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass Sprengstoffbrocken in die Rohprobe gelangen, ist sehr gering.

Die durchgeführten S4-Eluat bzw. die Sickerwasserprognose für den Auswurfbereich erfassen somit die möglichen Einträge aus Sprengstoffbrocken nur unzureichend. Deshalb sind in diesen Fällen für die Abschätzung der Gefährdung aus losen Sprengstoffbrocken die nachfolgenden Angaben zur Frachtberechnung zu verwenden.

In einer Best-Case-Betrachtung (vgl. Anhang 2.4) ergaben sich 7,5 m² an „Brockenoberfläche“. Mit einer Grundwasserneubildungsrate von 300 l/m² und einer angenommenen durchschnittlichen Freisetzungsrate von 2 g STV pro m² offen liegender Sprengstoffoberfläche errechnete sich ein jährlicher Eintrag von 15 g. Im Worst-Case kann von einer offen liegenden Brockenoberfläche von 150 m² und einem Jahreseintrag von 300 g ausgegangen werden. Diese Frachten können auf TNT bezogen werden, da es sich bei den visuell sichtbaren Brocken meist um diesen Sprengstoff handelt.

Weiterhin beziehen sich diese Angaben auf unverfüllte Sprengtrichter **und** Auswurfbereiche, da sie für zwei nicht rückverfüllte Sprengplätze ermittelt wurden. Unter der Voraussetzung, dass bei rückverfüllten Sprengtrichtern 80 % der ursprünglichen Auswurfmenge wieder in die Trichter eingebracht wurden, kann angenommen werden, dass dementsprechend auch 80 % der „Brocken-Fracht“ auf die Trichter und 20 % auf den Auswurfbereich entfallen. Das bedeutet für den **Auswurfbereich** von Sprengplätzen mit rückverfüllten Trichtern, dass aus Brocken pro Jahr im Regelfall zwischen **3 g** (Sprengplatzkategorien S und M) und **60 g** (Sprengplatzkategorien L und XL) emittiert werden.

Für die mit Auswurf rückverfüllten **Trichter** verbleiben zwischen **12 g** „Brocken-Fracht“ (Sprengplatzkategorien S und M) und **240 g** „Brocken-Fracht“ (Sprengplatzkategorien L und XL) aus losen Sprengstoffbrocken pro Jahr.

Falls an Bodenproben aus verfüllten Sprengtrichtern ergänzende Wannenueluate durchgeführt wurden, sollte die ermittelte Eluatkonzentration die Emission aus größeren Brocken mit einschließen. In diesem Fall kann eine Addition von Frachten aus losen Brocken für die Trichterbereiche entfallen. Wurde bei der Untersuchung von verfüllten Trichtern allein das S4-Eluat angewendet, ist anzunehmen, dass die STV-Fracht aus Sprengstoffbrocken nur unzureichend erfasst wurde. In diesem Fall müssen die 12 bis 240 g Fracht aus Brocken zur Fracht addiert werden, die aus den S4-Eluatkonzentrationen berechnet wird.

7.2.4 Offene Kampfmittel

Wie unter Kap. 6.5 beschrieben wird eine Best-Case- und eine Worst-Case-Betrachtung durchgeführt, da die Testfeldsondierungen möglicherweise eine eingeschränkte Repräsentativität aufweisen.

Im Best-Case wird die Gesamtfläche an offenen Sprengstoffoberflächen im Streugebiet mit der Freisetzungsmenge von 0,4 g /a multipliziert, im Worst-Case die doppelte Größe mit einer Fracht von 5,3 g pro m² offen liegendem Sprengstoff.

Die ermittelten Gesamtmengen an STV, die pro Jahr aus offenen Kampfmitteln im Streugebiet freigesetzt werden, liegen im Regelfall zwischen einigen Gramm und einigen hundert Gramm. Dies hängt vor allem von der Menge und dem Zustand der bei den Testsondierungen aufgefundenen Kampfmittel ab. Da die meiste reichseigene Munition mit TNT gefüllt war, kann die berechnete Emission (Summe STV) aus offenen Kampfmitteln in erster Näherung als TNT-Fracht in die Berechnung eingehen.

Für in Sprengtrichtern angetroffene Kampfmittel kann ggf. in analoger Weise verfahren werden. Eine Hochrechnung auf nicht geöffnete Trichter ist jedoch nicht möglich, da sich die Munitionsbelastungen einzelner Trichter aus prinzipiellen Gründen nicht auf andere Trichter übertragen lassen.

Bei der Planung von evtl. erforderlichen weiteren Maßnahmen kann es sinnvoll sein, die einzelnen 100 m-Zonen im Streugebiet einer gesonderten Betrachtung zu unterziehen.

7.2.5 Künftige Frachten

Die Sickerwasserprognose soll auch künftige Frachten abschätzen (§ 2 Nr. 5 BBodSchV). Um die Dauer des Schadstoffaustrags berechnen zu können, ist neben der jährlichen Fracht auch die Abschätzung der vorhandenen „Gesamtmenge“ (Schadstoffpotenzial) erforderlich. Bei Sprengplätzen ist

dies auf analytischem Weg nur eingeschränkt möglich, so dass dies nur indirekt über die erstellte Sprengbilanz erfolgen kann (vgl. Kap. 6.1.2).

Bei der vorhandenen „Gesamtmenge“ ist zu berücksichtigen, dass ein Teil der Rückstände in Brocken und möglicherweise in blind gegangenen offenen Kampfmitteln vorliegt. Trotz der Wasserlöslichkeiten der Sprengstoffe wird die Freisetzungsrates durch das partikuläre Vorliegen bzw. die reduzierte Kontaktmöglichkeit des Sickerwassers stark begrenzt. In Fachkreisen wird davon ausgegangen, dass die gänzliche Auflösung von partikelförmigen Sprengstoffrückständen in Abhängigkeit der Partikelgröße Jahrzehnte bis Jahrhunderte betragen kann (vgl. Anhang 2.7). Bei der Sickerwasserprognose ist daher davon auszugehen, dass ein Teil der Gesamtmenge als in überschaubarer Zukunft quasi nicht erschöpfbares Schadstoffreservoir vorliegt. Ergänzende Informationen für die Praxis sind dem Abschlussbericht zum KORA Themenverbund 5 „Nutzung von Natural Attenuation Potenzialen in mit Sprengstofftypischen Verbindungen (STV) belasteten Böden und Grundwässern“ zu entnehmen [523].

Exemplarisch kann die Dauer eines Stoffaustrags auf einem Kategorie-S-Sprengplatz überschlägig wie in **Tabelle 8** dargestellt berechnet werden. Der maßgebende Parameter bei dieser Berechnung ist die Lösungsrate, d. h. welche durchschnittlichen Mengen an Sprengstofftypischen Verbindungen mit dem Sickerwasser pro Zeiteinheit ausgetragen werden. Neben dem Gesamtstoffgehalt und der Korngröße der Rückstände spielt auch die prinzipielle Freisetzbarkeit der STV aus der Bodenmatrix eine Rolle.

Hierbei sind standortspezifische und bodenbedingte Unterschiede zu berücksichtigen. Trotzdem veranschaulicht das Berechnungsbeispiel, dass – im Verhältnis zum Emissionspotenzial – nur geringe Anteile ausgetragen werden und dass der Austrag vermutlich noch viele Jahrzehnte andauern wird.

Gesprengte Munitionsmenge	500 t
Anteil der Sprengstofffüllung (10%)	50 t
STV-Rückstandsmenge nach Sprengen bei einer Rückstandsquote von 0,1 %	50 kg
Zahl der Trichter	10
Trichtergröße (incl. Auswurfzone)	700 m ²
Kubatur eines Trichters	300 m ³
belastete Gesamtkubatur der zehn Trichter	5.000 t
rechnerische durchschnittliche Belastung der Gesamtkubatur (incl. Brocken)	10 mg/kg
Größe des Sprengfelds	7.000 m ²
Angenommene durchschnittliche Konzentration an Σ STV am Ort der Beurteilung	100 µg/l
Grundwasserneubildungsrate	172 mm/a
Jahresaustrag	120 g
Austragsreichweite bzw. -dauer	> 400 a

Tab. 8:
Überschlägige Dauer des STV-
Austrags auf einem Kategorie-S-
Sprengplatz

Da das Ende der Sprengungen bereits mehr als ein halbes Jahrhundert zurückliegt, dürfte sich bei den meisten Sprengplätzen ein weitgehend **vergleichmäßiger Austrag** eingestellt haben, der nur saisonalen Schwankungen unterliegt. Temperatur und Niederschlagsmenge sind hier die maßgeblichen Faktoren. Bei der Bewertung der ermittelten Grundwasserkonzentrationen ist zu berücksichtigen, dass insbesondere beim Hexogen erhebliche saisonale Konzentrationsschwankungen auftreten können.

7.3 Transportprognose

Die aus den einzelnen Teilfrachten (Sprengtrichter, Auswurfbereich, offene Kampfmittel und lose Sprengstoffbrocken) ermittelte jährliche Gesamtschadstofffracht (Emissionspotenzial) ist im Weiteren dahingehend zu beurteilen, ob die ungesättigte Bodenzone eine Schutzfunktion für das Grundwasser aufweist bzw. ob ein Schadstoffrückhalt oder mikrobiologische Abbauprozesse stattfinden.

Die Rückhaltewirkung des Untergrunds kann im Allgemeinen durch theoretische Überlegungen abgeschätzt werden. Von zentraler Bedeutung sind bei Sprengplätzen hierbei die Stoffeigenschaften der beiden Hauptparameter Hexogen und TNT (vgl. Anhang 2.7). Ferner sind die Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung, ihre Durchlässigkeit und ihr Adsorptionspotenzial von Bedeutung.

Da die allermeisten Böden für das sehr mobile Hexogen keinerlei oder nur eine minimale Schutzfunktion aufweisen, bewegt sich Hexogen praktisch ungehindert zum Grundwasser. Die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung, ihre Durchlässigkeit oder ihr Adsorptionspotenzial spielen daher für Hexogen praktisch keine Rolle. Ein signifikanter Abbau von Hexogen findet im Untergrund ebenfalls nicht oder kaum statt. Die für den Ort der Probenahme berechnete Fracht ist somit bei Hexogen im Regelfall mit der Fracht am Ort der Beurteilung gleichzusetzen.

Bei Nitroaromaten wie TNT können in gewissem Umfang Abbau und Adsorptionsprozesse Fracht mindernd in Ansatz gebracht werden.

TNT wird zu ADNT metabolisiert. Im Regelfall findet jedoch kein weiterer Abbau statt. Da ADNT eine ähnliche Mobilität wie TNT aufweisen und die Geringfügigkeitsschwellen identisch sind, führt der Abbau folglich nicht zu einer Minderung der Gefahr.

Auch für TNT und ADNT ist bei kiesigem oder sandigem Untergrund davon auszugehen, dass die für den Ort der Probenahme ermittelte Fracht mit den Frachten am Ort der Beurteilung gleichzusetzen ist.

Dagegen ist bei Böden mit

- hohen Anteilen an organischer Substanz
- Tonmineralen
- und/oder Eisen- oder Manganoxiden (Fe(II) bzw. Mn(IV))

für TNT und ADNT ein teilweiser Rückhalt möglich. Die möglichen Sorptionseffekte sind jedoch stark standortabhängig. Zusätzliche Erkenntnisse zum Stoffrückhalt können ggf. durch die Bestimmung standortspezifischer Sorptionskoeffizienten in Säulen- und Batchversuchen sowie durch den Einsatz von validierten Stofftransportmodellen erhalten werden [523].

7.4 Gefährdungsabschätzung Grundwasser

Eine **Gefahr für das Grundwasser** liegt vor, wenn bei ungehindertem Ablauf des Geschehens mit hinreichender Wahrscheinlichkeit in absehbarer Zeit eine erhebliche Grundwasserverunreinigung eintritt, d. h. ein sprengstofftypischer Parameter im Grundwasser die GFS überschreitet.

Die GFS bildet somit die Grenze zwischen einer geringfügigen (unerheblichen) Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer erheblichen Verunreinigung.

Wird ein Sprengstofftypischer Parameters im Grundwasser nachgewiesen, unterschreitet jedoch die GFS, so liegt zwar eine Grundwasserverunreinigung vor, sie ist jedoch als unerheblich einzustufen. Maßnahmen bezüglich des Grundwassers sind in der Regel nicht erforderlich.

Überschreitet ein STV-Parameter die Geringfügigkeitsschwelle im Grundwasser, liegt eine erhebliche Grundwasserverunreinigung vor und es sind in der Regel Maßnahmen bezüglich des Grundwassers erforderlich.

8 Erfordernis von Maßnahmen

Für die abschließende Gefährdungsabschätzung und die Festlegung von Sanierungsmaßnahmen sind stets Grundwasserverunreinigung und schädliche Bodenveränderung oder Altlast zusammen zu betrachten. Von der zusammenfassenden Bewertung hängen Dringlichkeit und Ausmaß der erforderlichen Maßnahmen für das Grundwasser sowie für die Schadstoffquelle ab.

Bei der Bewertung dieser Maßnahmen sind insbesondere folgende Kriterien zu prüfen:

- die Höhe der Grundwasserbelastung durch Sprengstofftypische Verbindungen im Vergleich mit den Geringfügigkeitsschwellen
- das derzeitige räumliche Ausmaß der Verunreinigung sowie die künftige Verlagerung und Ausbreitung der Grundwasserverunreinigung. Hierbei sind die Frachten, die (jährlich) in Zukunft über das Sickerwasser aus den Schadstoffquellen in das verunreinigte Grundwasser eingebracht werden, natürliche Schadstoffminderungsprozesse und das Retentionsvermögen des Aquifers zu berücksichtigen. Beurteilungskriterium für die Ausdehnung des Grundwasserschadens sind wiederum die Geringfügigkeitsschwellen
- die im Schadensbereich und seiner Umgebung gefährdeten Nutzungen.

Nach Prüfung und Beurteilung der genannten Kriterien müssen die zu treffenden Maßnahmen – analog zu herkömmlichen Altlasten – **verhältnismäßig** sein, d. h. **geeignet, erforderlich und angemessen**. Die geeigneten Maßnahmen sind einzelfallspezifisch festzulegen. Hierbei sind die jeweiligen Einzelfrachten aus Sprengtrichtern, Auswurfbereichen, losen Sprengstoffbrocken und Kampfmitteln mit offenen Sprengstoffoberflächen an der Gesamtfracht zu berücksichtigen. Bei geringfügigen Überschreitungen der GFS im Grundwasser reicht ggf. eine Überwachung des Grundwassers aus.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Vorgehensweise, die für die Untersuchung von Sprengplätzen empfohlen wird, im Überblick.

Tab. 9: Empfohlene Vorgehensweise bei der Untersuchung von Sprengplätzen

Untersuchungsstufe	Erkundungen
Defizitanalyse	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rekonstruktion der gesprengten Munitionsmengen und –arten (Sprengbilanz) ➤ Kategorisierung des Platzes (S, M, L, XL) ➤ Rekonstruktion der Sprengbereiche und der Auswurfzonen ➤ Exakte Übertragung der Verdachtsflächen auf digitale Flurkarten mittels GIS auf Basis georeferenzierter Luftbilder
Orientierende Untersuchung	<ul style="list-style-type: none"> ➤ im Bedarfsfall geomagnetische Flächensondierungen zur Trichterlokalisierung ➤ Aufstellen des Untersuchungskonzepts und des Probenahmeplans ➤ Erstellen des Arbeitssicherheitskonzepts ➤ Feldarbeiten mit repräsentativer Beprobung der Auswurfbereiche und der Sprengtrichter ➤ sofern möglich Beprobung von Schichtwasser ➤ Materialuntersuchungen ➤ Sickerwasserprognose für Auswurfbereiche und Sprengtrichter
Optional: Orientierende Untersuchung / Detailuntersuchung	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Testfeldsondierungen in fünf Zonen im Hauptstreugebiet zur Abschätzung der Kampfmittel mit offenen Sprengstoffoberflächen ➤ Sickerwasserprognose mit Berechnung der Teilfracht aus Kampfmitteln mit offenen Sprengstoffoberflächen ➤ Bau einer Grundwassermessstelle ➤ mehrmalige Untersuchung des Grundwassers ➤ ggf. Entlassung des Platzes aus dem Verdacht
Detailuntersuchung	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fortführung und Vervollständigung der im Rahmen der OU noch nicht erbrachten Erkundungsmaßnahmen ➤ ergänzende Untersuchungen zur Emissionsabschätzung ➤ ggf. Bau weiterer Grundwassermessstellen und ergänzende Grundwasseruntersuchungen ➤ Sickerwasserprognose mit Berechnung der Teilfrachten aus Sprengtrichtern, Auswurfbereichen, losen Sprengstoffbrocken und Kampfmitteln mit offenen Sprengstoffoberflächen ➤ abschließende Gefährdungsabschätzung unter Einbeziehung der vertieften Untersuchungsergebnisse im Grundwasser ➤ Plausibilitätsprüfung ➤ Feststellung des Erfordernisses von Maßnahmen

Bildnachweis:

Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung (www.geodaten.bayern.de)	Seite 15 oben Seite 17 S, M, XL Seite 58 Seite 78 links
Bayerisches Hauptstaatsarchiv, MWi 12096a	Seite 15 unten Seite 19 unten
National Archives	Seite 19 oben
SCHWENDNER, A.	Seite 18 Seite 20 Seite 28 Seite 31 Seite 34 unten Seite 35 Seite 57 links Seite 58 oben Seite 63 Seite 64 Seite 65 (1-5, 7, 8)
Regierungspräsidium Darmstadt, Kampfmittelräumdienst	Seite 27 Seite 57 rechts
[123] PENNINGTON, J. C. et al. (2005): Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges. Interim Report 5. ERDC/CRREL TR-05-2.	Seite 29
[394] PENNINGTON, J. C. et al. (2001): Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges: interim report 1. ERDC TR-01-13.	Seite 32 links und Mitte
[115] PENNINGTON, J. C. et al. (2003): Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges: interim report 3. ERDC TR-03-2.	Seite 86 links
KLATT, J.	Seite 30 Seite 65 (6)
[426] BRANNON, J. M. & HAYES, C. A. (2003): Fate and transport parameters, Chapter 6. – In: PENNINGTON, J. C. (2003): Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges: Interim Report 3 ERDC TR-03-2	Seite 32 rechts
Bauer, J.; Landkreis Goslar	Seite 34 oben
Regierungspräsidium Stuttgart, Kampfmittelbeseitigungsdienst Baden-Württemberg	Seite 54 Seite 55 Seite 56
OBERTH, M.	Seite 58 unten
[488] 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	Seite 86 rechts
Luftbild veröffentlicht mit freundlicher Genehmigung des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr, 2009	Seite 78 rechts
Mit freundlicher Genehmigung der INPHORIS GmbH und der Stadt Nürnberg	Seite 17 links

