

# AbfallwirtschaftsFakten 23

## Untersuchung von Böden mit Belastungen durch sprengstofftypische Verbindungen (STV)

Wiltrud Rex (ZUS AGG), Dr. Ina Objartel (ZUS AGG), Dr. Walter Kretschmer (LBEG)

Hildesheim, März 2018

Die Abfallwirtschaft unterliegt einer ständigen Weiterentwicklung. Um die Informationen über die Entwicklungen möglichst rasch an die mit Abfallentsorgung befassten Stellen zu bringen, geben das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim – Zentrale Unterstützungsstelle Abfall, Gentechnik und Gerätesicherheit (ZUS AGG) – und das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) je nach Thema in Zusammenarbeit mit weiteren Fachleuten, ein entsprechendes Informationsblatt mit dem Titel „AbfallwirtschaftsFakten“ heraus.

Dieses Papier ist unter Mitwirkung von Jürgen Klatt (Landkreis Celle), Friedrich-Wilhelm Otte und Carsten Bubke (Landkreis Heidekreis), Patrick Malassa und Lars-Heiner Büch (ZUS AGG), Dr. Andreas Larm und Bodo Mieke (LBEG), Martin Kötter und Dr. Joachim Schulze (Institut für Angewandte Hydrogeologie – IFAH GbR) sowie dem Fachausschuss C4 Rüstungsaltslasten des Ingenieurtechnischen Verbandes für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA) entstanden. Wir danken diesen und allen weiteren Beteiligten für ihre Unterstützung.

### 1. Sprengstofftypische Verbindungen

Unter sprengstofftypischen Verbindungen (STV) werden Stoffe verstanden, die i. d. R. zur Herstellung von Kampfmitteln eingesetzt wurden, diese sind insbesondere Trinitrotoluol (TNT) und seine Zwischenprodukte aus der Produktion und deren Abbauprodukte, außerdem Hexogen (RDX), Octogen (HMX), Nitropenta (PETN), Pikrinsäure (PA) und Dinitrobenzol (DNB).

Die STV werden gemeinsam mit den pulvertypischen Verbindungen (PTV) unter dem Begriff der explosivstofftypischen Verbindungen (ETV) zusammengefasst.

PTV sind Verbindungen, die bei der Herstellung von Treibladungspulvern zum Einsatz kommen, z. B. Nitrocellulose, Nitroglycerin und diverse Pulvergelatoren und -stabilisatoren.

Die größten ETV-Verunreinigungen im Boden sind in der Kriegs- (insbesondere Produktion) bzw. Nachkriegszeit (Vernichtung von Kampfmitteln) entstanden. Je nachdem, ob diese Stoffe beispielsweise im 1. oder 2. Weltkrieg eingesetzt wurden und ob diese aus der Produktion (Zwischen- bzw. End- und Abbauprodukte) bzw. der Vernichtung von Kampfmitteln (End- und Abbauprodukte) in den Boden gelangt sind, liegt ein unterschiedliches Stoffspektrum vor.

Aufgrund der bisher in Niedersachsen gesammelten Erfahrungen (insbesondere bei Sprengplatzsanierungen mit STV-Belastungen) orientieren sich diese AbfallwirtschaftsFakten vorwiegend an den typischen Belastungsmustern von STV auf Sprengplätzen.

### 2. Anfall von STV-haltigem Bodenmaterial

Bodenmaterial mit Belastungen durch STV kann anfallen bei:

- Erkundungsmaßnahmen,
- Bodensanierungsmaßnahmen,
- Kampfmittelräummaßnahmen und
- Baumaßnahmen im Bereich von Rüstungsaltsstandorten.

Insbesondere bei Sanierungen ehemaliger Kampfmittelherstellungs-/ Kampfmittelverarbeitungsbetriebe und bei Sanierungen bzw. Kampfmittelräummaßnahmen auf ehemaligen Sprengplätzen sind hohe Gehalte an STV zu erwarten. Es muss, je nach verwendetem Kampfmittel, jedoch nicht bei jeder Kampfmittelräummaßnahme mit STV im Boden gerechnet werden (z. B. Räumung von Blindgängern mit intakter Außenhaut).

### 3. Art und Verhalten der STV im Boden und Säulenversuche des LBEG

STV-belastete Böden sind aufgrund des Vorkommens der Sprengstoffe in Form von Partikeln bzw. kristallinen Ausfällungen (z. B. bei Ablagerungen auf ehemaligen Produktionsstandorten der Rüstungsindustrie) i. d. R. sehr inhomogen belastet. Hinzu kommen Umverteilungen der STV in der Bodenmatrix durch anthropogen bedingte kleinräumige Bodenumlagerungen, z. B. bei Baumaßnahmen.

Das oben Genannte trifft insbesondere auf (ehemalige) Sprengplätze, Zielgebiete auf Schießbahnen sowie durch Nachnutzung überprägte Standorte der Rüstungsindustrie zu.

Auf Sprengplätzen ist insbesondere im Auswurfbereich der Trichter und in den Trichtern selbst mit hohen Konzentrationen von STV zu rechnen.

An den Sprengstoffpartikeln treten auch nach jahrzehntelanger Kontaktzeit mit Boden und Sickerwasser nur langfristige oberflächliche Veränderungen auf. Kontinuierlich werden die schlecht wasserlöslichen STV aus der Festphase in die Flüssigphase nachgeliefert, sodass sie je nach Größe und Chemismus über sehr lange Zeiträume eine Schadstoffquelle darstellen.



Dabei kann die Reaktivität von Explosivstoffpartikeln, die jahrzehntelang Umwelteinflüssen ausgesetzt waren, zunehmen. Die Handhabungssicherheit derartiger Materialien nimmt entsprechend ab.

Je nach Polarität des Stoffes, Angebot von Sorptionsplätzen und Konkurrenz an diesen kann im Eluat eines mit STV belasteten Bodens nur ein Teil der vorhandenen STV mobilisierbar sein.

TNT liegt im Boden i. d. R. in höheren Konzentrationen vor als seine Metabolite und ist somit mit größerer Sicherheit nachweisbar als diese.

Bei Untersuchungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU Bayern) wurde in Eluaten, in denen STV nachweisbar waren, in allen Fällen TNT und RDX nachgewiesen, in 92 % der Proben zusätzlich TNT-Abbauprodukte.

Säulenversuche des niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) zeigten, dass sich auf den Korngrößenbereich von Schluff vermahlene TNT, welches vorab weitestgehend homogen in eine Bodenprobe eingemischt war, in einem Säulenversuch in ca. 6 Wochen vollständig lösen kann.



Säulenversuch des LBEG (LBEG)

Zusätzlich wurden zu den oben erwähnten dotierten Proben STV-belastete Bodenproben aus dem Gelände untersucht. Visuell sichtbare Sprengstoffbrocken waren bis zu einem Durchmesser von ca. 0,5 cm aussortiert. Danach wurden die Bodenproben sehr sorgfältig homogenisiert. Im Eluat der Säulen wurde trotzdem eine große Spannweite der Konzentrationen an STV gemessen. Durchschnittlich eins von drei Säulen-Eluaten wies dabei abweichende STV-Konzentrationen auf.

## 4. Untersuchung STV-belasteter Standorte

### 4.1 Ermittlung des Eintragsortes

Kenntnisse über potentielle Kontaminationen von STV im Boden werden i. d. R. durch historische Erkundungen (z. B. Archivauswertungen, Zeitzeugenbefragungen, Luftbilddauswertungen) erlangt. Sofern sich Hinweise auf Eintragsorte (z. B. ehemalige Sprengplätze oder Produktionsstandorte der Rüstungsindustrie) ergeben, helfen Luftbilddauswertungen auch bei der näheren Lokalisierung. Des Weiteren sind insbesondere regionale und überregionale Archive geeignete Quellen. Mit Hilfe einer multitemporalen Luftbilddauswertung sowie von Kartenmaterial aus unterschiedlichen Zeiten können auch (bauliche) Veränderungen erfasst werden.

Sofern es keine weiteren konkreten Anhaltspunkte für Eintragsquellen gibt, aber STV im Grundwasser in relevanten Konzentrationen nachgewiesen wurden, ist das Auffinden der Quellen häufig schwierig. Für die Lokalisierung der manchmal kleinen oder diffusen Quellen ist eine Rasterbeobachtung nicht in jedem Fall zielführend. In der Regel ist die Entwicklung eines standortspezifischen Untersuchungskonzeptes (mit spezifischen Parameterlisten) erforderlich.

Des Weiteren können Trichterbereiche von ehemaligen Sprengplätzen durch geomagnetische Untersuchungen gut räumlich eingegrenzt werden.

### 4.2 Probenahme

Die Art der Probenahme hängt davon ab, ob eine in-situ-Probenahme (beispielsweise im Rahmen von Untersuchungsmaßnahmen der Altlastenbearbeitung) oder eine Charakterisierung von Bodenmaterial im Haufwerk (im Rahmen der Altlastensanierung bzw. Kampfmittelräumung zur Entscheidung über die Wiedereinbaufähigkeit bzw. Feststellung der Ablagerungsfähigkeit auf einer Deponie) erfolgen soll.

#### 4.2.1 In-situ-Probenahme

Für eine Probenahme im Bestand kann ein Bodenaufschluss durch Schürfe ein sinnvolles Erkundungsmittel sein. In der Schurfwand können Sprengstoffbrocken oder Auskristallisationen erkannt werden. Sofern ein Schurf als Baggerschurf angelegt wird, sind aus Arbeitssicherheitsgründen für den Bagger i. d. R. spezielle Schutzvorrichtungen notwendig (Schutzverglasung, Stahlplatte im Führerhausboden).

Vor dem Anlegen der Schürfe wird die dazu vorgesehene Fläche nach dem Entfernen von Störkörpern geomagnetisch auf Kampfmittel untersucht. Bei tieferen Schürfen müssen ggf. ein schichtenweiser Abtrag und erneute Freimessungen zur Tiefe hin erfolgen.



Schurf eines Sprengtrichters auf dem ehemaligen Sprengplatz „Naleppa“ (IFAH GbR)

Alternativ können je nach Fragestellung auch Oberflächenmischproben sowie fallweise Rammkernsondierungen geeignetes Probenmaterial liefern (Details s. z. B. Arbeitshilfen für die Untersuchung von Sprengplätzen, LfU Bayern, 2009). Dabei sind entsprechende Arbeitssicherheitsmaßnahmen zu ergreifen.

Auf Rüstungsalblastenverdachtsflächen hat vor jedem Eingriff in den Boden eine Freimessung durch Fachpersonal zu erfolgen. Sofern Sondierungen zur Probengewinnung durchgeführt werden sollen (insbesondere bei der Gewinnung von Proben aus einer Tiefe > 3 m), muss demnach eine Freigabe des Bohransatzpunktes erfolgen. Hierzu kann parallel zum geplanten Bohransatzpunkt eine Schneckenbohrung angelegt und der Bohransatzpunkt abschnittsweise durch geophysikalische Messungen freigemessen werden. Alternativ kann ein dichtes Netz von Schneckenbohrungen abgeteuft werden, um ein geomagnetisches Profil zu erstellen.

Falls keine Freimessung (z. B. wegen zu hoher Störkörperdichte) erfolgen kann, können noch vorsichtige, schrittweise Handschachtungen unter kampfmitteltechnischer Begleitung möglich sein.

Sofern große Mengen an Sprengstoff im Bohrgut zu erwarten sind oder ein Verdacht auf besonders sensitive Sprengstoffe besteht, kann es notwendig sein, ferngesteuerte und videoüberwachte Bohrgeräte zu verwenden.

*Hinweis:* Bei Untersuchungen von potentiell STV-kontaminierten Böden ist außer mit diffusen STV-Kontaminationen auch mit reinen Sprengstoffen und Kampfmitteln zu rechnen und ggf. mit diesen umzugehen. Neben den allgemeinen Anforderungen an Arbeiten in kontaminierten Bereichen müssen daher die Anforderungen des Sprengstoffgesetzes (SprengG) berücksichtigt werden (z. B. Anwesenheit einer verantwortlichen Person nach § 20 SprengG als Koordinator und Probenehmer).

Besteht außerdem der Verdacht auf das Vorhandensein chemischer Kampfstoffe bzw. chemischer Kampfmittel, müssen die Arbeiten von einem C-Feuerwerker begleitet werden. Gegebenenfalls sind zusätzlich geeignete Messgeräte zum Aufspüren chemischer Kampfstoffe sowie spezielle Erste-Hilfe-Maßnahmen vorzusehen.

#### 4.2.2 Probenahme aus dem Haufwerk

Konkrete Anforderungen an die Probenahme (aus dem Haufwerk) werden in der Deponieverordnung (DepV) festgelegt. Probenahmen für Untersuchungen zur Feststellung der Ablagerungsfähigkeit oder Verwertbarkeit auf Deponien haben gemäß DepV nach der LAGA Mitteilung 32 (LAGA PN 98) zu erfolgen.

Um zu gewährleisten, dass die gewonnenen Proben sowohl für Untersuchungen zur Wiedereinbaufähigkeit als auch für die Prüfung der Entsorgungsmöglichkeit auf Deponien genutzt werden können, muss somit bei Haufwerksbehebungen im Rahmen von Sanierungen STV-belasteter Böden diese Probenahmenvorschrift Anwendung finden.

Ein Bodenmanagement bei der Sanierung vorausgesetzt, werden tendenziell stärker belastete Haufwerke (z. B. aus dem Sprengtrichtermaterial) und weniger belastete Haufwerke (z. B. Auswurfmaterial der Trichter) getrennt angelegt und beprobt.

Davon ausgehend, dass ein Haufwerk aus einer Sprengplatzsanierung nach Absiebung von Kampfmitteln durch diverse Umlagerungsvorgänge (Bodenaushub, Aufhaltung, Siebung, Entstehung neuer Haufwerke an der Siebanlage, Umlagerung dieser Haufwerke zur vorübergehenden Lagerung zur Probenahme) ausreichend durchmischt ist, kann die Probenahme direkt aus diesem Haufwerk (ggf. aus angelegten Schürfen) erfolgen.

Zusätzlich zu den Anforderungen der LAGA PN 98 sollten im Hinblick auf die besonderen Eigenschaften von STV-belastetem Bodenmaterial aus Sprengplatzsanierungen folgende Modifizierungen und Aspekte berücksichtigt werden:

**Anzahl Einzelproben:** Es sollten abweichend von der LAGA PN 98 mindestens 30 Einzelproben je Mischprobe entnommen werden.

**Anzahl Mischproben:** Die Anzahl der erforderlichen Mischproben richtet sich nach der LAGA PN 98. Das heißt, dass auch von sehr kleinen Haufwerken mindestens zwei Mischproben entnommen und untersucht werden müssen. Wenn die Laborbefunde dieser beiden Mischproben stark voneinander abweichen, ist eine Analytik weiterer Proben erforderlich.

*Hinweis:* Sofern aus der Probe Sprengstoffbrocken > 2 cm aussortiert wurden, ist davon auszugehen, dass kleinere Sprengstoffbrocken nicht mehr mit verhältnismäßigem Aufwand abgetrennt werden können. Bei dem von Sprengstoffbrocken > 2 cm befreiten Material handelt es sich somit nicht mehr um ein Kampfmittel, sondern um Bodenmaterial, das dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) bzw. Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) unterliegt.

### 4.3 Janowsky-Schnelltest

Bei diesem Schnelltest handelt es sich um ein rein qualitatives Nachweisverfahren, das sowohl bei Untersuchungs- als auch Sanierungsmaßnahmen unterstützend eingesetzt werden kann, um beispielsweise visuelle Befunde abzusichern. Dabei ist allerdings zu beachten, dass Negativbefunde nicht ohne Weiteres die Sprengstofffreiheit der Verdachtsfläche belegen.

Für den Schnelltest wird auf eine kleine Menge zu untersuchender Substanz bzw. einer Bodenprobe zunächst Aceton, anschließend Natron- oder Kalilauge geträufelt. Wesentlich ist dabei, Verschleppungen (an Probenahmegerät, Handschuhen oder Probenablage) zu vermeiden, um falsch positive Befunde zu verhindern.

Bei Anwesenheit von Nitroaromaten (mit Nitrogruppen in meta-Stellung) findet eine Farbreaktion statt, die je nach Verbindung spezifisch ist. So führt die Anwesenheit von TNT zu einer roten bis braunen Färbung, während Pikrinsäure eine Gelb- bis Orangefärbung, Tetryl ebenfalls eine Gelbfärbung und 2,4-Dinitrotoluol eine Blaufärbung erzeugt. Hexogen und Nitropenta lassen sich mit dem Test nicht nachweisen. Um die Farbreaktion gut erkennen zu können, sollte der Test beispielsweise auf weißem Filterpapier durchgeführt werden.



Positive Farbreaktion auf TNT beim Janowsky-Schnelltest (ZUS AGG)

### 4.4 Eluatverfahren

Bei dem etablierten 10:1-Schüttel-Eluat nach DIN EN 12457-4 mit einer Einwaage von 90 g Trockensubstanz zeigt die Analytik häufig entweder einen deutlichen Konzentrationspeak, der nicht den realen durchschnittlichen Konzentrationen im Haufwerk entspricht, oder eine zu geringe Konzentration der STV. Dies ist der inhomogenen Verteilung im Boden geschuldet.

Grundsätzlich ist eine hohe **Einwaage** weniger anfällig gegenüber heterogener Schadstoffverteilung und glättet im Eluat die inhomogen verteilten Stoffkonzentrationen.

Um diesen speziellen Eigenschaften STV-belasteter Böden gerecht zu werden, hat sich in der Praxis ein **1:1-Wannen-Eluat** mit einer Einwaage von bis zu 20 kg Bodenmaterial bewährt.

Einen Vergleich der wesentlichen Versuchsbedingungen von 10:1-Schüttel-Eluat zum 1:1-Wannen-Eluat zeigt Tabelle 1:

	10:1-Schüttel-Eluat DIN EN 12457-4	1:1-Wannen-Eluat
<b>Einwaage</b>	90 g	bis zu 20 kg
<b>Elutionsdauer</b>	24 h	24 h
<b>Behandlung</b>	permanent schütteln	regelmäßig umrühren
<b>Mischungsverhältnis (W/F)</b>	10:1	1:1

Tabelle 1: Vergleich von Schüttel- und Wannen-Eluat

Diese Versuchsbedingungen lassen sich im Hinblick auf das Untersuchungsziel wie folgt bewerten:

Das beim 1:1-Wannen-Eluat gewählte **Wasser-Feststoff-Verhältnis (W/F)** kommt den natürlichen Verhältnissen (= realen Sickerwasserkonzentrationen am Ort der Beurteilung) am nächsten.

**Schüttelvorgang:** Die hohe mechanische Beanspruchung beim Schüttel-Eluat durch den 24-stündigen Schüttelvorgang schafft größere Oberflächen als das Rühren beim Wannen-Eluat. Dies und der Abrieb an den STV-Bröckchen (durch mechanische Beanspruchung) führt zu einer höheren Freisetzung von STV und stellt somit ein worst-case-Szenario dar. Dieser Vorgang wird überlagert vom (nicht quantifizierbaren) Adsorptionsverhalten des Bodens durch die Schaffung zusätzlicher Sorptionsplätze.

Auch in dieser Hinsicht spiegelt das Wannen-Eluat die natürlichen Verhältnisse und auch die Bedingungen während des Entsorgungsvorgangs besser wider, da durch den dort durchgeführten Rührvorgang die mechanische Beanspruchung deutlich geringer ist als bei dem Schütteltest.

Zudem wird das Wannen-Eluat aufgrund der deutlich höheren Einwaage den üblicherweise sehr heterogen verteilten STV besser gerecht als das Schüttel-Eluat.

Insgesamt wird das Wannen-Eluat daher als am besten geeignet angesehen, um realitätsnahe Daten zu erzeugen.



Wannen-Eluat (IFAH GbR)

**Hinweise:** Je nach Fragestellung kann die Untersuchung eines Wannen-Eluates aus Bodenproben mit hohen STV-Konzentrationen bzw. bei Proben von Brandplätzen ungeeignet sein. Hier ist als Untersuchungsverfahren die DIN ISO 11916-1 (Feststoffuntersuchung) vorzuziehen.

Für den Fall, dass Bodenmaterial aus einer Sanierungs- bzw. Kampfmittelräummaßnahme auf einer Deponie entsorgt werden soll, sind alle weiteren für die Deklarationsanalytik notwendigen Parameter aus dem 10:1-Schüttel-Eluat nach DIN EN 12457-4 zu bestimmen.

#### 4.5 Herstellung eines Wannen-Eluates

**Probenhomogenisierung:** Aufgrund der sehr heterogenen Verteilung der STV im Boden sollte die Probenhomogenisierung (der Mischprobe) sehr sorgfältig erfolgen. Das Bodenmaterial wird in ein Behältnis zur Eluatherstellung gefüllt und mit geeignetem Gerät sorgfältig durchmischt. Dabei sind ggf. Tonaggregate zu zerkleinern.

**Einwaage:** Grundsätzlich sollte die Einwaage möglichst hoch gewählt werden. Zur Eluatherstellung im Feld ist erfahrungsgemäß eine Einwaage von 20 kg praktikabel. Sofern das Wannen-Eluat im Labor hergestellt werden soll, ist auch eine geringere Einwaage (mindestens 3 kg) denkbar. Für Untersuchungen von Material jeweils eines bestimmten Standortes sollte zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse eine einheitliche Einwaage genutzt werden. Diese muss mit einer geeigneten Waage erfolgen.

**Elutionsmittel:** Im Labor wird das Eluat mit deionisiertem Wasser angesetzt. Es wird allerdings als ausreichend erachtet, bei einer Eluatherstellung im Feld das Eluat mit Trinkwasser anzusetzen, da hieraus resultierende geringfügig variierende Laborergebnisse gegenüber Fehlern bei geringerer Einwaage vernachlässigt werden können. Das überschüssige Eluat und die eluierte Probe sind einer geeigneten Entsorgung zuzuführen.

Beim Schüttel-Eluat im Labor wird zur Eluatherstellung gemäß DIN EN 12457-4 zur Bestimmung von Einwaage und dem Volumen an zuzuführendem Elutionsmittel zunächst die Trockenmasse (TM) der Bodenprobe nach DIN EN 14346 bestimmt.

Die Ermittlung der TM ist bei einer Eluatherstellung im Feld nicht praktikabel. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass das ggf. geringfügig differierende Wasser-Feststoff-Verhältnis auch hierbei gegenüber den Fehlern bei nur geringen Einwaagen anderer Verfahren vernachlässigt werden kann.

**Mischungsverhältnis:** Das Bodenmaterial wird in einem geeigneten, lichtundurchlässigen, ausreichend großen Behältnis (Edelstahleimer, Kunststoffwanne) im Verhältnis 1:1 mit dem Elutionsmittel versetzt. Nach der Zugabe des Elutionsmittels muss eine weitere sorgfältige Durchmischung erfolgen, um die Bodenaggregate gleichmäßig mit Wasser zu benetzen. Dabei ist die Bodenart zu beachten.

**Vermeidung von Lichteinfluss:** Das Eluat darf keinem Licht ausgesetzt sein, da gelöste STV einem photolytischen Abbau unterliegen. Aus diesem Grund muss das Eluat in einem dunklen Raum (auf der Baustelle z. B. in einem fensterlosen Container) hergestellt bzw. die verwendete Wanne mit einer Abdeckung aus UV-dichter Kunststoffolie versehen werden.

**Konzentrationsausgleich:** Der Elutionsansatz sollte zum Konzentrationsausgleich alle zwei Stunden eine Minute lang (bei nächtlichem Auslassen) gleichmäßig umgerührt werden. Nach letztmaligem Rühren sollte das Eluat nach einer Absetzzeit von mindestens einer Stunde (bodenartspezifisch) entnommen werden.<sup>1</sup>

**Temperatur:** Temperaturen von > 25 °C und < 15 °C sind bei der Herstellung der Eluate zu vermeiden.

**Standzeit:** Das Eluat ist nach einer Standzeit von 24 Stunden zu entnehmen.<sup>2</sup>

**Eluatentnahme und Probentransport:** Der Eluatüberstand wird über ein Edelstahlsieb (Maschenweite: 0,5 mm) in eine Braunglasflasche überführt.

Die Probenmenge richtet sich nach dem geplanten Untersuchungsumfang und sollte mit dem Labor abgestimmt werden. Die Probe sollte anschließend lichtgeschützt und gekühlt noch am selben Tag in ein geeignetes Labor transportiert, nach DIN EN 12457-4 aufbereitet und nach DIN EN ISO 22478 untersucht werden.

<sup>1</sup> Ein möglicher Einfluss durch individuell unterschiedliche Rührstärke kann nach Auffassung der Verfasser vernachlässigt werden.

<sup>2</sup> Ein echtes Lösungs-gleichgewicht kann sich zwar erst nach Auflösung aller STV-Partikel einstellen, allerdings verändern sich die Konzentrationen im Wannen-Eluat insbesondere bei geringen und mittleren STV-Konzentrationen nach 24 Stunden nicht mehr in relevantem Umfang (Untersuchungen des LfU Bayern). Bei Proben mit hohen STV-Konzentrationen in der Feststoffmatrix wird wiederum davon ausgegangen, dass nach 24 Stunden bereits so viele STV in Lösung gegangen sind, dass die Entscheidung über die Verwertungsoption bereits zweifelsfrei feststeht, ohne auf verlängerte Standzeiten zurückgreifen zu müssen. Außerdem wird durch die Festlegung auf eine Standzeit das Untersuchungsverfahren vereinheitlicht.

*Hinweis:* Wenn die Filtration von Wannens-Eluaten aufgrund von Zusetzen der Filterporen bodenartspezifisch bzw. aufgrund eines hohen Organikanteils (humose Oberböden) schwierig ist, kann im Labor auf eine Zentrifuge zurückgegriffen werden.

Für die Herstellung des Wannens-Eluats bietet sich folgender Zeitablauf an:

1. Tag: Probenahme (Bodenmaterial)
2. Tag: Eluatherstellung zu Beginn des Arbeitstages, im Verlauf des Tages Rührvorgänge
3. Tag: Eluatentnahme zu Beginn des Arbeitstages nach nochmaligem Rühr- und Absetzvorgang

#### 4.6 Feststoffuntersuchungen

Feststoffuntersuchungen von STV können gemäß DIN ISO 11916-1 und DIN ISO 11916-2 durchgeführt werden. Die Messergebnisse sind bei der vorgesehenen geringen Einwage von 20 g besonders anfällig für Schwankungen und daraus resultierenden Fehlbefunden aufgrund von inhomogen verteilten STV-Partikeln. Daher wird empfohlen, für Feststoffuntersuchungen Doppel- bzw. Dreifachbestimmungen durchzuführen oder die Probenmenge zu erhöhen.

Bei Untersuchungen des LfU Bayern wurden bei 75 % der Proben, bei denen STV im Eluat nachweisbar waren, keine STV in Feststoffuntersuchungen nachgewiesen. Das gilt auch für Proben, deren STV-Eluatkonzentrationen deutlich über den Geringfügigkeitsschwellen (GFS) lagen.

Im Folgenden werden Anforderungen an die Probengefäße, den Umgang mit Fremdbestandteilen, den Proben-transport und die anschließende Probenvorbereitung im Labor für Feststoffuntersuchungen dargestellt:

**Probengefäße:** Für STV-Untersuchungen sind Braunglasflaschen zu verwenden.

**Probentransport:** Die Proben werden – schnellstmöglichst – gekühlt, lichtgeschützt und gegen Bruch gesichert in das Labor verbracht. Für den Transport der Proben sind die einschlägigen Vorschriften zu beachten.

**Probenvorbereitung:** Bodenproben müssen so schnell wie möglich analysiert werden. Wenn die Probenvorbereitung nicht innerhalb einer Woche erfolgen kann, sind die Proben gemäß DIN ISO 11916-1 und DIN ISO 11916-2 an einem dunklen Ort bei einer Temperatur von  $4 (\pm 2) ^\circ\text{C}$  zu lagern. Proben, die vor der Analyse über einen längeren Zeitraum aufbewahrt werden (d. h. > 1 Woche), müssen bei einer Temperatur von  $-20 ^\circ\text{C}$  gelagert werden.

Die Probe zur Herstellung eines Methanolextraktes muss durch Sieben auf eine Korngröße von  $< 2 \text{ mm}$  homogenisiert werden.

Sprengstoffbröckchen im Siebüberstand müssen aussortiert und deren Massenanteil im Labor bestimmt werden. Der abgetrennte Anteil ist bei der Beurteilung des Ergebnisses zu berücksichtigen (zur visuellen Erkennung von Sprengstoffbrocken siehe Anlage).

*Hinweis:* Wenn im Labor nach der Siebung von Proben Sprengstoffbrocken als Fraktion aussortiert werden und isoliert anfallen, handelt es sich bei dieser Fraktion nicht mehr um Bodenmaterial. Die Handhabung dieses Materials fällt unter die Bestimmungen des Sprengstoffrechts. Das bedeutet, dass das Labor eine **Erlaubnis** zum Umgang mit explosionsgefährlichen Stoffen gemäß **§ 7 SprengG** nachweisen muss. Jede im Labor mit dem Material umgehende Person benötigt einen **Befähigungsschein** gemäß **§ 20 SprengG**.

#### 5. Literatur

- [1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 9 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist.
- [2] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 3 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.
- [3] Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz – SprengG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. September 2002 (BGBl. I S. 3518), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. Juni 2017 (BGBl. I S. 1586) geändert worden ist.
- [4] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 4 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.
- [5] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.
- [6] Erlass des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt und Klimaschutz vom 25.03.2010, Az. 38-62827/4: Umgang mit Siebrückständen nach einer Kampfmittelräumung, insb. auf Sprengplätzen.
- [7] Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 32: LAGA PN 98 – Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen (2001), [https://www.laga-online.de/documents/m32\\_laga\\_pn98\\_1503993280.pdf](https://www.laga-online.de/documents/m32_laga_pn98_1503993280.pdf).

- [8] Landesarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser (2016), [http://www.lawa.de/documents/Geringfuegigkeits\\_Bericht\\_Seite\\_001-028\\_6df.pdf](http://www.lawa.de/documents/Geringfuegigkeits_Bericht_Seite_001-028_6df.pdf).
- [9] DGUV Regel 101-004 – Kontaminierte Bereiche (bisher: BGR 128), Sachgebiet „Sanierung und Bauwerksunterhalt“, Fachbereich „Bauwesen“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) (aktualisierte Fassung Februar 2006).
- [10] Bayrisches Landesamt für Umwelt: Arbeitshilfen für die Untersuchung von Sprengplätzen – Praxisteil; Anhang 2.3: fachliche Hintergrundinformationen, Vergleich von Untersuchungsmethoden (2009).
- [11] DIN EN 12457-4: Charakterisierung von Abfällen: Auslaugung – Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen, Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngröße unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung) (2002).
- [12] DIN EN ISO 22478: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung ausgewählter Explosivstoffe und verwandter Verbindungen – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) mit UV-Detektion (2006).
- [13] DIN ISO 11916-1: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von ausgewählten Explosivstoffen und verwandten Verbindungen – Teil 1: Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) und UV-Detektion (2014).
- [14] DIN ISO 11916-2: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von ausgewählten Explosivstoffen und verwandten Verbindungen – Teil 2: Verfahren mittels Gaschromatographie (GC) und Elektronen-Einfang-Detektion (ECD) oder massenspektrometrischer Detektion (MS) (2014).
- [15] DIN EN 14346: Charakterisierung von Abfällen – Berechnung der Trockenmasse durch Bestimmung des Trockenrückstandes oder des Wassergehaltes (2007).
- [16] Kuchler, Frank: Probennahme und Qualitätssicherungsmaßnahmen bei Bodenkontaminationen mit sprengstofftypischen Verbindungen (Dissertation 2011), [http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FU-DISS\\_thesis\\_000000022786](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FU-DISS_thesis_000000022786).
- [17] Trommsdorf, Stefan: Veränderungen der Stoffeigenschaften und der sicherheitstechnischen Parameter von Fundsprengstoffen durch langfristige Umwelteinflüsse (Dissertation 2007), <https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/1883>.

**Herausgeber:**

**Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim  
Zentrale Unterstützungsstelle Abfall, Gentechnik  
und Gerätesicherheit (ZUS AGG)**

Goslarsche Straße 3, 31134 Hildesheim

**Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie  
(LBEG)**

Stilleweg 2, 30655 Hannover

**Bildnachweise:** Fotos (mit Ausnahme der gesondert aufgeführten) wurden von Mitgliedern des ITVA-Fachausschusses C4 Rüstungsaltpasten zur Verfügung gestellt.

Die „AbfallwirtschaftsFakten“ erscheinen unregelmäßig. Diese Schrift darf nicht verkauft werden; Nachdruck nur mit Genehmigung des Herausgebers.

**Internet:** [www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de](http://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de)

### 6. Anlage: Explosivstoffabbildungen

#### 6.1 Treibladungspulver



Abb. 1: *Gewehr-Blättchenpulver*



Abb. 4: *Röhrenpulver*



Abb. 2: *Röhrenpulver*

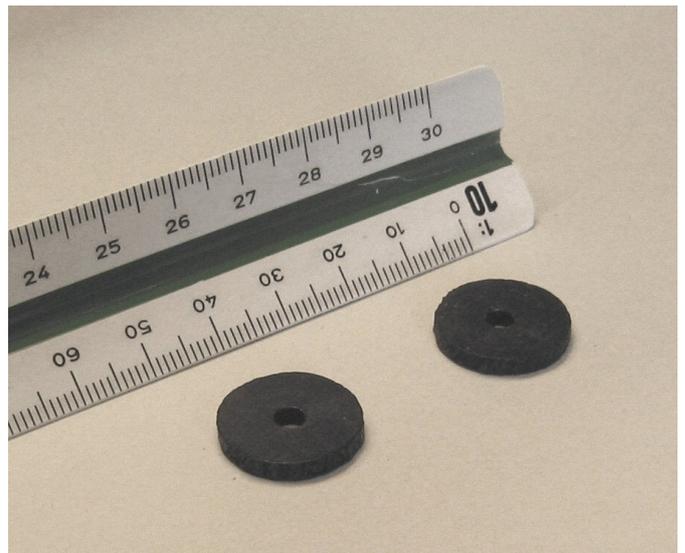


Abb. 5: *Ringpulver (Landkreis Heidekreis)*

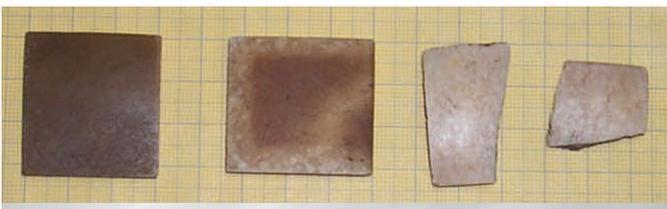


Abb. 3: *Plattenpulver (Landkreis Heidekreis)*



Abb. 6: *Treibladung*

### 6.2 Kampfstoffpulver



Abb. 7: A-Pulver (Nitrocellulose + Adamsit)

### 6.3 Sprengstoffe



Abb. 8: Sprengstoffpresslinge  
(braun: TNT; rosa: PETN; grün: Hexogen)



Abb. 10: TNT-Presslinge

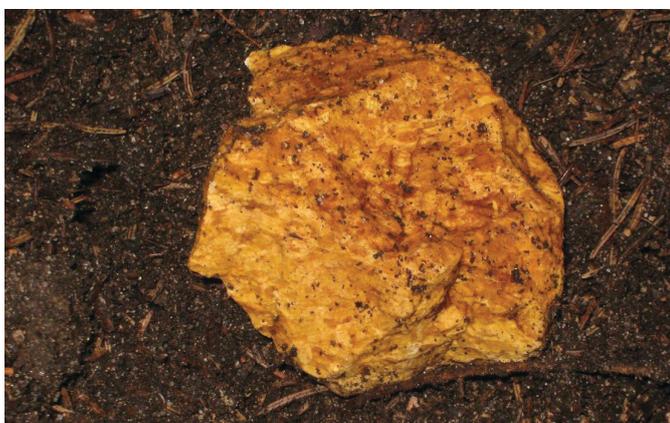


Abb. 9: TNT



Abb. 11: TNT-Rekristallisationen (LBEG)



Abb. 12: TNT



Abb. 15: TNT; die linke sonnenexponierte Seite ist braun verfärbt, die nicht sonnenexponierte Seite ist grau



Abb. 13: TNT



Abb. 16: PETN-Presslinge



Abb. 14: TNT-Ablagerung im Gelände



Abb. 17: PETN gefärbt mit Sudanrot G

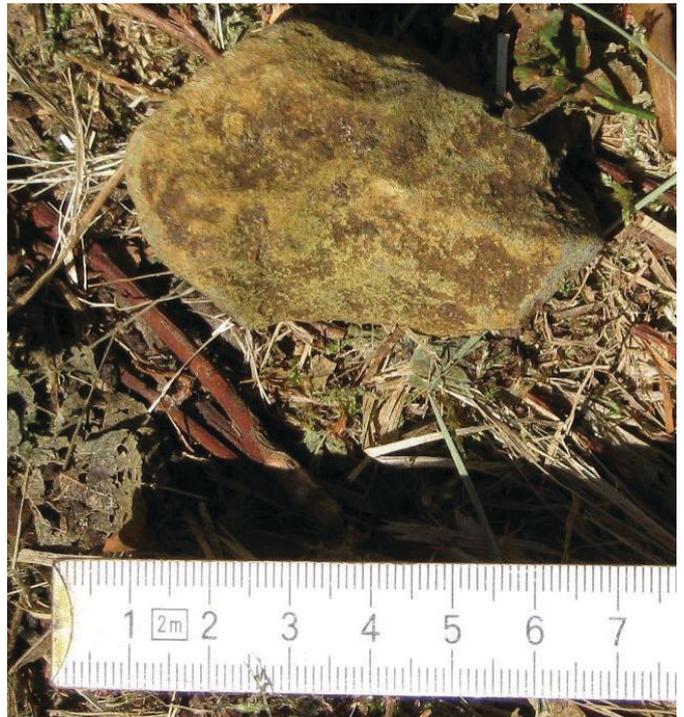


Abb. 20: Schießwolle: TNT + Hexyl + Aluminium



Abb. 18: Pikrinsäure-Presslinge



Abb. 19: Tetryl

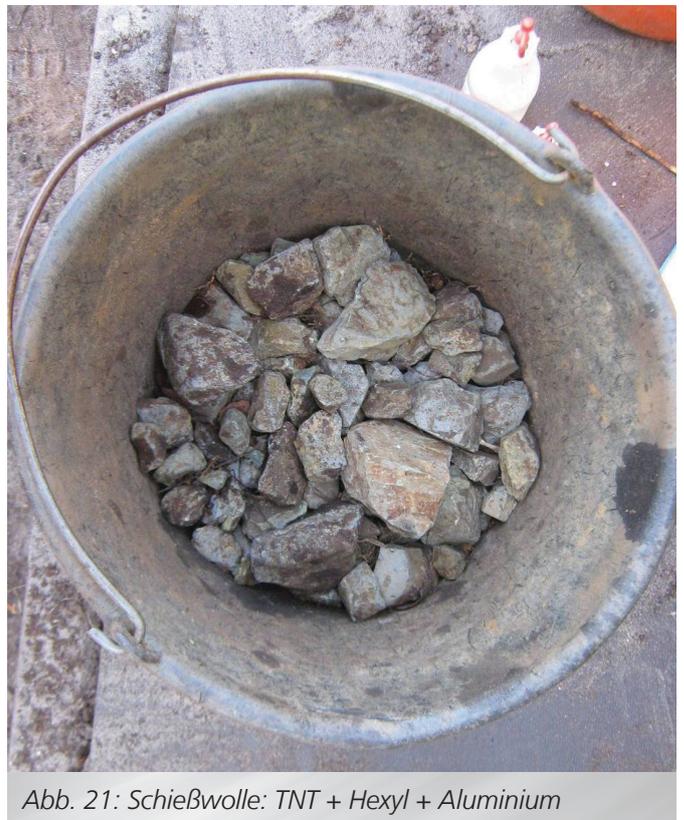


Abb. 21: Schießwolle: TNT + Hexyl + Aluminium

### 6.4 Nitroaromaten-Schnelltest

(Janowsky-Reaktion mit Aceton und Kalilauge)

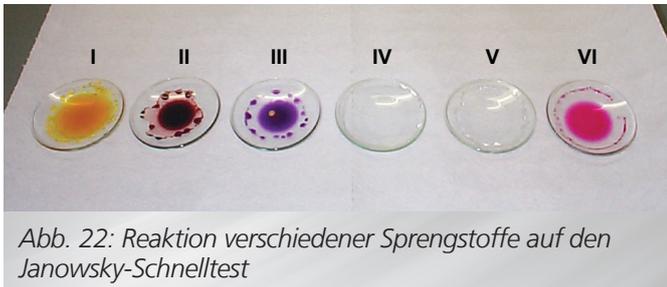


Abb. 22: Reaktion verschiedener Sprengstoffe auf den Janowsky-Schnelltest

#### Legende:

- I: Pikrinsäure (orange/gelb)
- II: 2,4,6-Trinitrotoluol (blutrot)
- III: 1,3-Dinitrobenzol (violett)
- IV: Hexogen (keine Reaktion, da Nitramin)
- V: Nitropenta (keine Reaktion, da Salpetersäureester)
- VI: 1,3-Dinitronaphthalin (purpur)



Abb. 23: Sehr deutlich positive Janowsky-Reaktion mit Mischkontamination aus Hexyl, Tetryl und Pikrinsäure