

**Die Untersuchung von Spreng- und Brandplätzen**  
**- Erfahrungen und Handlungsempfehlungen**  
**aus Nordrhein-Westfalen -**

von

**Dipl. Geol. Wolfgang Greminger**  
Beratender Ingenieur und Geologe,  
Oberhausen

und

**Dr. Uwe Möller**  
Biomar GmbH, Oberhausen

## Impressum

- Herausgeber: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen  
Walneyer Straße 6  
45133 Essen  
Telefon: 0201 / 7995 - 0  
Telefax: 0201 / 7995 - 1446 / -1447 / -1448  
e-mail: poststelle@lua.nrw.de
- Erscheinungsort/-datum: Essen, 2000
- Projektleitung und  
Gesamtreaktion: Dr. Barbara-M. Mies und Dipl.-Ing. Bernhard Goldschmidt
- Schriftenvertrieb: Gemeinnützige Werkstätten Neuss, Am Krausenbaum 11,  
41464 Neuss, Telefax: 02131 / 42860
- Schutzgebühr: 30,- DM (zzgl. MWSt., Porto und Versandkosten)
- Umschlaggestaltung: Werbeagentur Scharke GmbH, Düsseldorf
- Druck: JVA Geldern
- Papier: Gedruckt auf 100% Altpapier ohne Chlorbleiche
- ISSN:** **1432-3575**
- 
- Informationsdienste  
des LUA NRW: Umweltdaten aus NRW, Fachinformationen des LUA NRW:
- Internet unter <http://www.lua.nrw.de>
- Aktuelle Luftqualitätsdaten NRW:
- WDR-Videotext (3. Fernsehprogramm), Tafeln 177 bis 179
  - Telefonansagedienst unter: 0201 / 19700
- Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LUA NRW (24-Std.-Dienst)  
Telefon: 0201 / 714488
-

## Vorwort

Unter den Flächen, die ehemals zu rüstungsbedingten oder militärischen Zwecken genutzt wurden, stellen Spreng- und Brandplätze eine gewisse Besonderheit dar. Aufgrund der speziellen Nutzung ist es bei ihnen besonders schwierig abzuschätzen, ob Gefahren durch Boden- oder Gewässerverunreinigungen zu befürchten sind. Meist ist nicht näher bekannt, mit welcher Art von Munition, welchen Inhaltsstoffen und welchen Mengen dort umgegangen wurde.

Für die zur Bearbeitung von Altlasten zuständigen Behörden stellt sich somit vor allem die Frage, ob und inwieweit ehemalige Spreng- und Brandplätze eine besondere Gefährdung darstellen können, und somit nach der Bearbeitungspriorität im Vergleich zu sonstigen Ablagerungen und Altstandorten. Da Erfahrungen mit solchen Flächen im Lande bisher kaum vorliegen, sind zudem fachliche Hinweise für eine angepasste Vorgehensweise bei der Untersuchung und Beurteilung erforderlich.

Zur Klärung dieser Fragen hat das Landesumweltamt NRW ein Untersuchungsvorhaben vergeben, das vom Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW (jetzt MUNLV NRW) finanziert wurde. Im Rahmen dieses Vorhabens hat der Auftragnehmer, W. Greminger, Oberhausen, in Kooperation mit der Biomar GmbH, Oberhausen, zunächst praktische Untersuchungen an ausgesuchten Modellstandorten in NRW durchgeführt. Die Ergebnisse wurden dann mit Erkenntnissen aus Gefährdungsabschätzungen von Spreng- und Brandplätzen des Landes Niedersachsen abgeglichen und ergänzt.

Der vorliegende Materialien-Band stellt die Resultate des Vorhabens dar und gibt Handlungsempfehlungen für die sachgerechte Bearbeitung derart genutzter Flächen.

Ich danke den Untersuchungsnehmern und allen Fachleuten, die am Zustandekommen dieser Ergebnisse beteiligt waren.

Essen, Juni 2000



Dr.-Ing. Harald Irmer  
Präsident des  
Landesumweltamtes  
Nordrhein-Westfalen



---

## Abkürzungsverzeichnis

ADNT	Aminodinitrotoluole
ALA	Altlastenausschuss der LABO (ehemals der LAGA)
ANT	Aminonitrotoluole
AOX	Adsorbierbare Organische Halogenverbindungen
B-Wert	Besorgniswert
CN	Cyanide
DANT	Diaminonitrotoluole
DAT	Diaminotoluole
DEV-S4	Deutsches Einheitsverfahren - S4
DNB	Dinitrobenzole
DNT	Dinitrotoluole
DVGW-OW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches - Oberflächenwasser
ELISA	Enzyme Linked Immunosorbent Assay
EOX	Extrahierbare Organische Halogenverbindungen
EPA	Environmental Protection Agency
GC-MS	Gekoppelter Gaschromatograph/Massenspektrometer
GOK	Geländeoberkante
KRD	Kampfmittelräumdienst
KVO	Klärschlammverordnung
LABO	Länderarbeitsgemeinschaft Boden
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LEG NRW	Landesentwicklungsgesellschaft Nordrhein-Westfalen
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level
LUA NRW	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen <b>ehemals:</b>
LWA NRW	Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MUNLV NRW	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen <b>ehemals:</b>
MURL NRW	Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen
MZB	Munitionszerlegebetrieb

---

NB	Nitrobenzole
NLÖ	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
NT	Nitrotoluole
P-Wert	Prüfwert
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
RKS	Rammkernsondierung
SM	Schwermetalle
StUA	Staatliches Umweltamt
STV	Sprengstofftypische Verbindungen
TDI	Tolerable Daily Intake
TNT	Trinitrotoluol
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
XRD	Röntgendiffraktometrie
XRS	Röntgenfluoreszenz

---

---

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>1</b>
<b>2 EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
<b>3 DIE UNTERSUCHUNG VON SPRENG- UND BRANDPLÄTZEN</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Beschreibung der ausgewählten Standorte</b>	<b>7</b>
<b>3.2 Überblick über die wichtigsten Munitionsarten</b>	<b>10</b>
<b>3.3 Rechtsregelungen und Vorgehensweise bei der         Kampfmittelbearbeitung in NRW</b>	<b>13</b>
<b>3.4 Techniken der Munitionsortung und -räumung</b>	<b>16</b>
3.4.1 Munitionsortung	16
3.4.2 Munitionsräumung	17
<b>3.5 Standorttypische Belastungen</b>	<b>19</b>
3.5.1 Munitionsfunde	19
3.5.2 Bodenbelastungen	20
3.5.3 Grund- und Oberflächenwasserverunreinigungen	22
3.5.4 Schadstoffinventar	22
3.5.5 Beispielhafte Umsetzungsreaktionen	30
<b>3.6 Hinweise aus Geländebegehungen</b>	<b>32</b>
<b>3.7 Beprobung von Boden, Bodenluft, Wasser und Bausubstanz</b>	<b>34</b>
3.7.1 Bodenproben	34
3.7.2 Beprobung der Bodenluft	35
3.7.3 Grund- und Oberflächenwasserproben	37
3.7.4 Beprobung von Bausubstanz	37
<b>3.8 Vor-Ort-Analytik</b>	<b>38</b>
<b>3.9 Laboranalytische Verfahren</b>	<b>40</b>
<b>3.10 Auswahl der Untersuchungsparameter und Erfahrungen aus den         durchgeführten Standort-Untersuchungen</b>	<b>45</b>
<b>4 BEWERTUNGSHILFEN</b>	<b>51</b>
<b>5 ZUSAMMENFASSENDE EMPFEHLUNGEN</b>	<b>55</b>

---

**Tabellen im Text**

**Seite**

1	Die wichtigsten sprengstofftypischen Verbindungen auf Rüstungsaltslasten.....	24
2	Übersichtsgliederung der wichtigsten Vertreter chemischer Kampfstoffe.....	30
3	Hinweise auf Schadstoffe durch Geländebefunde (Beispiele).....	33
4	Zur Feststoffanalytik eingesetzte Verfahren und deren Nachweisgrenzen.....	43
5	Zur Wasser-/ Eluatanalytik eingesetzte Verfahren und deren Nachweisgrenzen .....	44
6	Im Rahmen des Vorhabens analysierte STV .....	46
7	Weitere im Rahmen des Vorhabens untersuchte Parameter .....	47
8	Besorgnis- und Prüfwerte für STV in Böden .....	52
9	Trinkwasser-Richtwerte für STV .....	53



---

**Anhang: Statistische Betrachtungen****Seite****Abbildungen:**

Abb. A1: Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im Feststoff .....	A6
Abb. A2: Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im Eluat.....	A8

**Tabellen:**

Tab. A1: Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im Feststoff .....	A5
Tab. A2: Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im Eluat.....	A7
Tab. A3: Verteilungsmuster von Nitronaphthalinen und Stabilisatoren im Feststoff.....	A9
Tab. A4: Verteilungsmuster von Nitronaphthalinen und Stabilisatoren im Eluat .....	A9
Tab. A5: Verteilungsmuster sonstiger organischer Stoffe im Feststoff .....	A10
Tab. A6: Verteilungsmuster sonstiger organischer Stoffe im Eluat.....	A11
Tab. A7: Verteilungsmuster anorganischer Stoffe im Feststoff.....	A11
Tab. A8: Verteilungsmuster anorganischer Stoffe im Eluat .....	A13
Tab. A9: Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im Wasser .....	A15
Tab. A10: Verteilungsmuster von Nitronaphthalinen und Stabilisatoren im Wasser ....	A16
Tab. A11: Verteilungsmuster von leichtflüchtigen Substanzen im Wasser .....	A16
Tab. A12: Verteilungsmuster sonstiger organischer Substanzen im Wasser .....	A17
Tab. A13: Verteilungsmuster anorganischer Substanzen im Wasser .....	A17

---

Die Autoren möchten sich bei folgenden Personen und Stellen für die Unterstützung bei der Projektbearbeitung und für Anregungen zum Manuskript bedanken:

Herrn Dr. Bauer, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und  
Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Herrn Bertges, Landesumweltamt NRW

Herrn Böhlefeldt, Staatliches Umweltamt Minden

Herrn Dr. Börger, Bundesministerium der Verteidigung

Frau Dr. Mies, Landesumweltamt NRW

Herrn Dr. Riedel, Geologisches Institut der Ruhr-Universität Bochum

Herrn Willershausen, Bezirksregierung Düsseldorf

Herrn Dr. Wollin, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie

Kampfmittelräumdienst Arnberg

Kampfmittelräumdienst Detmold

Kampfmittelräumdienst Düsseldorf

Kampfmittelräumdienst Köln, Außenstelle Aachen

Kampfmittelräumdienst Münster

Kreisverwaltung Wesel

Staatliches Bauamt Aachen

Staatliches Bauamt Wesel

Firma Tauber

UCR GmbH, Essen

---

## 1 Zusammenfassung

Rüstungsaltpasten stellen auch mehr als 50 Jahre nach Ende des II. Weltkriegs noch ein aktuelles Problem dar. Die unverändert hohe Anzahl von regelmäßigen Munitionsfunden zeigt zudem, dass auch hier weiterhin mit entsprechenden Gefährdungen von Mensch und Umwelt zu rechnen ist. Ehemalige Spreng- und Brandplätze sind eine besondere Untergruppe der Rüstungsaltpaste-Verdachtsflächen. Im Gegensatz zu etwa ehemaligen Produktionsstätten ist es hier besonders schwierig, eine potenzielle Gefährdung abzuschätzen, da in der Regel weder die Art noch die Mengen der behandelten Munition bzw. der Stoffe genauer bekannt ist, mit denen am Standort umgegangen wurde.

Im Rahmen eines Untersuchungsvorhabens wurde exemplarisch betrachtet, ob bei derart genutzten Flächen grundsätzlich von einem besonders hohen Gefährdungspotenzial auszugehen ist, das für die zuständigen Behörden die Einstufung in eine vorrangige Bearbeitungspriorität erfordern würde. In die Untersuchungen wurden sieben repräsentative Flächen in NRW einbezogen. Die so gewonnenen, praktischen Erfahrungen wurden anschließend im Rahmen einer ergänzenden Auswertung vergleichbarer Gutachten aus Niedersachsen an neun weiteren Standorten überprüft und vervollständigt.

Der nachfolgende Leitfaden gibt zusammenfassende, praktische Hinweise zur Bearbeitung von ehemaligen Spreng- und Brandplätzen. Diese umfassen empfohlene Voruntersuchungen, den erforderlichen Arbeitsschutz, die Auswahl von Untersuchungsparametern sowie Bewertungshilfen für analysierte Schadstoffkonzentrationen. Am Ende jedes Einzelkapitels wird ausgewählte Literatur angeführt, die i.d.R. auch Hinweise auf weiterführende Schriften enthält.

**Als wichtigstes Ergebnis des Untersuchungsvorhabens ist hervorzuheben, dass auf Spreng- und Brandplätzen nicht generell mit erheblichen Verunreinigungen von Boden oder Gewässern zu rechnen ist.**

Nicht oder nur zum Teil geräumte Flächen stellen aber ein beträchtliches **akutes Betretungsrisiko** dar. Dieses resultiert vor allem aus der häufig dort noch vorhandenen Munition, die in Einzelfällen auf der Geländeoberfläche liegt, und die zum Teil angesprengt bzw. in der Vergangenheit unsachgemäß behandelt worden ist. In diesen Fällen muss von einer **latenten Detonationsgefahr** ausgegangen werden. Weiterhin sind Reaktivitäten zwischen den Wirk- und Baustoffen der Munition und den sie umgebenden Medien im Untergrund und bei Freilegung möglich.

---

Im Hinblick auf potenzielle Umweltbelastungen sind zunächst ehemalige **Sprengtrichter** (verfüllt oder nicht verfüllt) sowie **Brandplätze** von Bedeutung. Spreng- und Brandplätze besitzen/besaßen darüber hinaus eine spezifische Infrastruktur. Dazu gehören neben einzusetzenden Maschinen und Geräten sowie Unterkünften auch Munitions-Sammelstellen, Arbeitsplätze zur Munitionssortierung, Feuerlöschteiche, Klärbecken etc.. Gerade letztgenannte Einrichtungen zeigten bei den Untersuchungen teilweise signifikante Kontaminationen. Liegen geräumte Areale vor, so ist auch das wiedereingebaute Material zu berücksichtigen, da "Sekundärbelastungen" z.B. durch Schlämme aus Klär- oder Feuerlöschteichen, PAK-haltige Oberflächenbefestigungen von Baustraßen oder kontaminierte Bauschuttreste möglich sind.

**Spreng- oder Brennbunker** sind als Sonderfall zu betrachten. Bei solchen Einrichtungen kann generell davon ausgegangen werden, dass in der Bunkererde oder in Staubablagerungen auf der Bausubstanz erhebliche Schadstoff-Konzentrationen vorliegen.

Stehen Spreng- und Brandplätze saisonal oder permanent im Kontakt mit Grundwasser, so muss mit erheblichen **Grund- und/oder Oberflächenwasserverunreinigungen** vor allem durch sprengstofftypische Verbindungen (STV), aber auch durch andere Stoffe gerechnet werden.

Zur Aufstellung angepasster **chemischer Untersuchungsprogramme** können **keine allgemein gültigen "Listen"** zu analysierender Parameter aufgestellt, sondern lediglich Anhaltspunkte zur Ermittlung einer potenziellen Belastung gegeben werden. Das Untersuchungsprogramm muss sich vielmehr - aufbauend auf eine möglichst umfassende historische Recherche - an den jeweiligen Standortgegebenheiten orientieren (Nutzungsgeschichte, geologische und hydrogeologische Situation, Hintergrundbelastungen etc.).

Bei **Feststoff**-Untersuchungen ist zusätzlich zu beachten, dass vor allem bei den Metallen auch geogen bedingte Hintergrundbelastungen in bedeutenden Größenordnungen vorliegen können. Der AOX-Gehalt (insbesondere im anmoorigen oder allgemein im Stauwassermilieu) und der TOC/DOC-Gehalt von Proben können auch durch biologische Vorgänge beeinflusst werden.

---

## 2 Einleitung

Obwohl der II. Weltkrieg bereits mehr als 50 Jahre zurückliegt, stellen Umweltbelastungen aus einer kriegs- oder rüstungsbedingten Nutzung ("Rüstungsaltslasten") noch ein aktuelles Problem dar. So waren 1992 bundesweit über 4000 Verdachtsflächen von Rüstungsaltsstandorten erfasst /1/.

Weiterhin zeigt die immer noch hohe Anzahl von regelmäßigen Munitionsfunden, dass auch hier mit entsprechenden Umweltgefährdungen zu rechnen ist. Nach über 50 Jahren ist die im Boden liegende Munition vielfach stark korrodiert, so dass das sie umgebende Erdreich entweder durch den direkten Kontakt mit der freiliegenden Füllung oder durch dessen wasserlöslichen Anteil beeinträchtigt sein kann. Durch den Austrag des löslichen Anteils sind zudem zusätzlich Belastungen des Grundwassers möglich.

Nicht bekannt war bisher, inwieweit bei der Untergruppe der Spreng- und Brandplätze von einem besonderen Gefährdungspotenzial auszugehen ist. Das Landesumweltamt NRW hat daher, finanziert durch das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (MURL, jetzt MUNLV) NRW, eine modellhafte Untersuchung beauftragt, in der sieben repräsentative Flächen entsprechender Nutzung in NRW praktisch untersucht wurden. Grundlage für die Auswahl der Flächen waren Ergebnisse einer vom MURL veranlassten Standort-Erhebung bei den Forstbehörden des Landes, in deren Zuständigkeitsbereichen solche Flächen häufig zu finden sind. Bei der Auswertung der Erhebungsbögen wurde zunächst berücksichtigt, ob bereits Hinweise auf mögliche Kontaminationen vorlagen (benannte Nutzung als Spreng- oder Brandplatz, beobachtete Wachstumsschäden, bereits vorhandene Untersuchungsergebnisse etc.). Daneben war vor allem die derzeitige Nutzung der Standorte und damit die Einschätzung eines eventuell vorhandenen Gefährdungspotenzials wichtig. Folgende Standorte wurden zur Untersuchung ausgewählt:

- Ehemaliger Sprengplatz Rühener Ebene, Ringelstein (Regierungsbezirk Detmold)
- Ehemaliges Munitionsdepot Brüggen-Bracht (Regierungsbezirk Düsseldorf)
- Ehemaliges Sprenggelände Gronenburg, Greven (Regierungsbezirk Münster)
- Kampfmittel-Räumstelle Lahnhof, Netphen (Regierungsbezirk Arnberg)

Des Weiteren wurden bereits vorliegende Untersuchungen folgender Flächen in NRW berücksichtigt:

- Spreng- und Brandplätze im Bereich des landeseigenen Munitionszerlegebetriebs (MZB) Hünxe
-

- Sprengplätze im Bereich des ehemaligen Fliegerhorstes Kirchhellen
- Ehemaliger Sprengbunker in Monschau-Alzen

Zu Untersuchungsbeginn existierten folgende Informationen zu den ausgewählten Flächen:

Zum **Sprenggelände Rüthener Ebene** konnte auf Unterlagen des StUA Minden über im Juli 1997 durchgeführte Arbeiten zurückgegriffen werden. Sie umfassten Pläne, die Untersuchung von Wasser- und Sediment-Proben der Vorfluter sowie Laboruntersuchungen an ca. 30 Bodenproben aus 10 Schürfen.

Im **Munitionsdepot Brüggel-Bracht** wurde die Munitionsvernichtung erst 1996 aufgegeben. 1997 hat dort die Landesentwicklungsgesellschaft (LEG) NRW eine Gefährdungsabschätzung beauftragt, deren Ergebnisse zur Verfügung standen.

Der Erfassungsbogen der zuständigen Forstbehörde zur **Fläche Gronenburg, SW von Greven**, enthielt Hinweise auf eventuelle Bodenkontaminationen („Bodenverseuchung: stellenweise kein Baumwachstum möglich“). Der zuständige Kampfmittelräumdienst (KRD) hatte die Fläche bereits von Kampfmitteln geräumt, eine erneute Ortsbesichtigung ergab keinen Hinweis auf akute Gefährdungen der Geländearbeiten durch Restmunition.

Auf der **Fläche Lahnhof** sollten im Untersuchungszeitraum 16 vermutlich mit Munition verfüllte ehemalige Sprengkrater geöffnet und geräumt werden, die bei einem Durchmesser von 8 bis 10 m eine Tiefe von etwa 8 m aufwiesen. Das zu räumende Areal wurde ausgehoben, der anfallende Boden über eine Siebanlage entmunitioniert bzw. entschrotet, die geborgene Munition manuell nachsortiert und anschließend vernichtet.

Das Land Niedersachsen hat im Rahmen einer zentralen Bearbeitung von Rüstungsaltslasten auch Untersuchungen von Spreng- und Brandplätzen durchführen lassen. Die entsprechenden Gutachten standen zu Vergleichszwecken mit den Ergebnissen dieses Vorhabens zur Verfügung. Die Sichtung der Unterlagen ergab projektrelevante Informationen zu folgenden Flächen:

- Standort Midlum-Kransburg
  - Standort Ehra-Lessien
  - Standort St. Andreasberg (Rinderstall)
  - Standort Hänigsen
  - Standort Gronau/Barfelde
  - Standort Nienburg-Langendamm
-

- Standort Flugplatz Marx
- Standort Muna Bodenteich
- Standort Luftmunitionsanstalt Damme

**Literatur:**

/1/ UMWELTBUNDESAMT (1993): Umweltdaten - kurzgefaßt. Ausgabe 1993, Umweltbundesamt, Berlin

---





### 3 Die Untersuchung von Spreng- und Brandplätzen

#### 3.1 Beschreibung der ausgewählten Standorte

Zur Vernichtung von Munition durch Sprengen und Brennen wurden und werden neben Bunkeranlagen (z.B. Bunkeranlagen aus der Zeit des II. Weltkrieges oder dafür hergestellte Bauwerke) auch Freiflächen verwendet, die sich oft im Bereich von Wäldern, Äckern oder Brachflächen befinden. Entsprechende **Freiflächen** können Größen von mehreren Hektar aufweisen, wobei entweder auf dem gesamten Areal oder lediglich auf kleineren Teilflächen gearbeitet wurde. Auf Spreng- und Brandplätzen aus dem Kreis Wesel etwa wurde Munition gebündelt gelagert und dann geballt gesprengt. Dieses Verfahren wird heute noch auf anderen Standorten angewendet, wobei Petroleum, Benzin oder Teeröl als Zündmittel Verwendung finden.

Im Gegensatz zu Spreng- und Brandplätzen auf Freiflächen sind **Sprengbunker** und **Abbrennstellen in Bunkeranlagen** gesondert zu betrachten. Gemeinsam haben diese Anlagen, dass sie zur Ableitung der Druckwellen bzw. zur Rauch- und Staubleitung Abzüge aufweisen, und dass in solchen Anlagen die Munition in Einzelstücken oder in kleinen Mengen auf engem Raum konzentriert vernichtet wurde/wird. In den untersuchten **Bunkeranlagen** befanden sich Sprengkammern/Sprenggruben, an deren Seitenwänden zur Dämmung Holzschwellen angebracht waren. Die Sprenggruben bestanden aus Ausschachtungen, die teilweise mit Dämmmaterial (Bunkererde) aufgefüllt waren.

**Brennbunker** sind ähnlich wie Sprengbunker aufgebaut, können aber auch mit Bodenplatten ausgerüstet sein. Die Verbrennung findet hier entweder in offenen Pfannen oder in Öfen statt. Abluft-Reinigungsanlagen waren in den untersuchten Fällen nicht vorhanden.

Neben den eigentlichen Sprengarealen besaßen und besitzen Spreng- und Brandplätze zumindest zum Teil eine spezifische **Infrastruktur**, die folgende Einrichtungen beinhalten kann:

- Munitions-Sammelstellen
  - Arbeitsplätze zur Munitionssortierung
  - Lagerplätze allgemein
  - Lagerbunker für Munition(-sreste)
-

- Schutzwälle/-wände
- Wasserreservoir
- Feuerlöschteiche
- Entwässerungsanlagen (Grabensysteme, Dränagen, Klärbecken)
- Baustraßen
- Parkplätze für Maschinen und Geräte
- Unterkünfte

Die 16 betrachteten Spreng- und Brandplätze aus NRW und Niedersachsen lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Freiflächen, die noch nicht von Munition geräumt wurden bzw. deren Räumung noch nicht abgeschlossen ist,
- Freiflächen, die bereits entmunitioniert bzw. zum Teil auch entschrottet wurden,
- Eine alte, noch nicht geräumte Bunkeranlage aus dem Bereich des Westwalles, deren Bausubstanz durch Ansprenge nach dem Krieg beschädigt und die zur Sprengung von Fundmunition umgebaut wurde,
- Anlagen eines Munitionszerlegebetriebes des Landes NRW.

Folgende geologische und hydrogeologische Verhältnisse lagen vor:

- Standorte im Festgestein (Schiefer, Kreidemergel, Kalkstein, Porphy), zum Teil mit Störungszonen und/oder Diskordanzen, an denen bevorzugt Quellaustritte zu verzeichnen sind. Das Festgestein wurde durch Gehängelehm, Hangschutt o.ä. überlagert.
- Standorte im Lockergestein mit zum Teil sehr kleinen Flurabständen bzw. auch mit saisonalen Grundwasserblänken,
- Standorte im Lockergestein mit mittleren bis großen Flurabständen.

Einige Standorte liegen in Trinkwasserschutzzonen und/oder Landschaftsschutzgebieten.

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass gerade bei Sortierstellen, Entwässerungsanlagen und Feuerlöschteichen oft signifikante Belastungen auftreten. Demzufolge ist es wichtig, im Rahmen einer sorgfältigen historischen Recherche nach Möglichkeit die Lage dieser (ehemaligen) Einrichtungen festzustellen. Weiterhin wichtig sind Angaben über den Betriebszeitraum und die Betriebseinrichtungen der Anlage, sowie

---

über die Art und Menge der vernichteten Munition. Detaillierte Hinweise zur Durchführung solcher Recherchen sind mittlerweile mehrfach veröffentlicht worden (vgl. etwa /1-3/). Bei den eigenen Auswertungen haben sich vor allem folgende Quellen als hilfreich erwiesen:

- Luftbilder
- Topographische Karten, insbesondere ältere Auflagen der DGK 5. Die Blätter beinhalten im Einzelfall Eintragungen von Sprengtrichtern, Grabensystemen, Teichen etc.
- Tagebücher und Pläne der zuständigen Kampfmittelräumdienste und/oder ihrer Vertragsfirmen
- Unterlagen aus Behördenarchiven, z. B. über bereits vorhandene Untersuchungen, Trinkwasserschutzgebiete, objekteneigene Wasserversorgungsanlagen und deren Fördermengen etc.
- Unterlagen aus dem Bereich der zuständigen Forstämter
- Sonstige Archive (Bundesarchiv, Militärarchive, Staatsarchive, kommunale Archive, Archive der alliierten Streitkräfte)
- Heimatkundliche Abteilungen in Stadtbibliotheken
- Kartierungen im Gelände
- Im Einzelfall Aussagen von Zeitzeugen

Die Ergebnisse der Recherchen sind in einem Standort-Dossier aufzubereiten (vgl. /1/ und /2/).

### **Literatur:**

- /1/ DODT, J. ET AL. (1994): Hinweise für die einzelfallbezogene Erfassung von Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten. - 396 S., Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 9, Düsseldorf
  - /2/ DODT, J. ET AL. (1997): Erhebungen über Altlast-Verdachtsflächen auf militärischen Liegenschaften. - 149 S., Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 1, Düsseldorf
  - /3/ HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT (Hrsg.) (1996): Rüstungsalstandorte. Teil1: Historisch-deskriptive Erkundung, Teil 2: Materialien über ehemalige Anlagen und Produktionsverfahren auf Rüstungsalstandorten. – Handbuch Altlasten, Band 4, Wiesbaden
  - /4/ GROSS, M. (1989): Der Westwall zwischen Niederrhein und Schnee-Eifel. Rheinland-Verlag GmbH, Köln.
-

### 3.2 Überblick über die wichtigsten Munitionsarten

Nachfolgend wird ein zusammenfassender Überblick über die wichtigsten Munitionsarten gegeben, die auf Spreng- und Brandplätzen angetroffen werden können. Weiterführende Informationen wie z.B. auch Regelschnitte des Munitionsaufbaus sind der unten aufgeführten Literatur zu entnehmen.

Grundsätzlich besteht Munition aus einem **Geschoss**, einer **Treibladung** und einem **Zünder**, wobei zwischen Patronenmunition und getrennter Munition unterschieden wird.

**Patronenmunition** kommt bei allen Handfeuerwaffen und Maschinengewehren, bei automatischen Kanonen und bei Einzelschusswaffen bis zu einem Kaliber von 120 mm zum Einsatz. Hier bilden Geschoss, Treibladung und Treibladungszünder eine Einheit. Bei **getrennter Munition** hingegen werden die einzelnen Munitionskomponenten separat geladen. Der Ausdruck **Geschoss** ist der Sammelbegriff für sämtliche Arten von Wurfkörpern. Geschosse mit Zünder und Sprengstoff werden als **Granaten** bezeichnet.

**Geschosse für Handfeuerwaffen und Maschinengewehre bis zum Kaliber 15,24 mm** (Kaliber 0.60) sind je nach Verwendungszweck Weichkern- oder Stahlkerngeschosse. Der Geschossmantel besteht aus tiefziehbarem Metall (Messing oder Flusstahl), der Kern aus Hartblei (Weichkerngeschoss) oder aus - in eine Bleifüllung eingelegtem - Stahl oder Wolframcarbid. Gegen Flugzeuge wurden bzw. werden Stahlkerngeschosse mit Leuchtspur oder mit einer Phosphormasse zur Brandwirkung eingesetzt. **Sprenggeschosse** bestehen i. a. aus der stählernen Geschosshülle, der meist eingegossenen oder eingepressten Sprengstofffüllung und dem Zünder. Sie besitzen je nach angestrebter Wirkung ein Massenverhältnis (Sprengstoffgewicht / Geschossgewicht) von 1:10 bis 1:5, bei Minen 1:4 bis 1:2,85. Als Sprengstoff wird heute meist ein Gemisch aus TNT und Hexogen (i.d.R. im Verhältnis 40/60) eingesetzt. **Sprengbrandgeschosse** enthalten ca. 30-40 % Aluminiumpulver als Beimischung zum Sprengstoff.

**Panzerbrechende Munition** lässt sich im Wesentlichen in Wuchtgeschosse, Hohlladungsgeschosse und Quetschkopfgeschosse einteilen. Ein **Wuchtgeschoss** enthält keinen Sprengstoff und besteht aus einer hochwertigen Stahllegierung oder aus Wolframcarbid. Auch Panzersprenggranaten zählen zu den Wuchtgeschossen. Sie besitzen nur eine kleine Sprengladung, die durch einen Bodenzünder erst nach Durchschlagen der Panzerung gezündet wird. Unterkalibrige Wuchtgeschosse (Geschossdurchmesser < Rohrdurchmesser) haben zur Rohrführung einen sogenannten Treibkäfig, der aus einer

---

Aluminium- und einer Magnesiumlegierung besteht, und das Geschoss nach Verlassen des Rohres freilässt. **Hohlladungsgeschosse** bestehen aus einer meist relativ dünnwandigen Stahlhülle und einer eingegossenen oder eingepressten Sprengladung mit kegelförmiger Einlage aus leicht verformbarem Material. Zur Zündung werden heute fast ausschließlich elektrische Bodenzünder verwendet. Die Wirkung von **Quetschkopfgeschossen** besteht darin, dass bei der Detonation der Sprengstofffüllung eine intensive Stoßwelle in die Panzerung eingeleitet wird.

**Nachbeschleunigte Geschosse** besitzen im Geschossheck einen Raketenmotor, der nach Verlassen des Rohres zündet (z. B. Panzerfaust). Der Gefechtskopf trägt meist eine Spreng- oder Hohlladung zur Panzerbekämpfung. Hinter dem Gefechtskopf befindet sich ein Festtreibstoff-Raketenmotor, der durch einen Treibsatzzünder gezündet wird. Unter **Trägergeschossen** versteht man Geschosse mit einem oder mehreren Gefechtsköpfen oder anderen Wirkteilen, die über eine weite Strecke getragen werden können (Raketen).

Bei **Leuchtmunition** kommen generell zwei unterschiedliche Typen zur Anwendung. Die Artillerie benutzt normalerweise Ausführungen, bei denen der Leuchtsatz in großer Höhe ausgestoßen wird und an einem Fallschirm niederschwebt. Bei dem zweiten Typ ohne Fallschirm erfolgt der Ausstoß des Leuchtsatzes in geringer Höhe (50-100 m). Er fällt anschließend schnell zu Boden und wird dort durch eine verzögerte Zündung in Gang gesetzt. Bei **Signalmunition** zündet ein farbiger Rauchsatz entweder unmittelbar nach dem Ausstoß auf der Flugbahn oder beim Bodenaufschlag. Das gleiche Prinzip besteht bei **Nebelsätzen**. Weitere Einzelheiten zu Leucht-/Signalmunition und Nebelsätzen sind weiter unten beschrieben.

**Übungsmunition** existiert in einer Vielzahl von Ausführungen für fast alle Schusswaffen. Entsprechend ihres Verwendungszweckes unterscheidet man bei dieser Munition wiederum **Manövermunition, Exerzier- und Zielübungsmunition** sowie **Prüfpatronen**. Die bekannteste Manövermunition ist bei Handfeuerwaffen die Platzpatrone. Sie besteht aus einer patronenähnlich geformten Messing- und Plastikhülse mit einer Treibladung. Diese ist so bemessen, dass der Mündungsknall sowie Licht- und Raucherscheinungen einem normalen Schuss vergleichbar sind. Beim Abschuss werden durch Sollbruch die entwickelten Gase freigegeben, ohne dass Geschosse den Lauf verlassen. Plastik-Trainingspatronen (PT-Patrone) bestehen aus einer Kunststoffhülse mit Metallboden und Zündhütchen, die mit einem Kunststoffgeschosskörper verbunden ist. Beim Abschuss

---

verliert dieses Geschoss aufgrund seiner kleinen Masse sehr schnell an Energie. PT-Patronen werden ebenfalls bei Handfeuerwaffen und automatischen Kanonen verwendet. Als Manövermunition für größere Kaliber dienen sogenannte Knalldarstellungsmunition und Manöverkartuschen. Die erstgenannte Munition wird meist oberhalb der Waffenrohre aus speziellen Abschussbechern elektrisch gezündet und besteht aus einem Kunststofftopf, Verdämmungen aus Gummi oder Styropor und einem Knallsatz. Manöverkartuschen werden dagegen genau wie eine normale Treibladung geladen und abgefeuert. **Zielübungsmunition** ist in Gewicht, Form und Abmessung der Gefechtsmunition gleich. Sie besitzt bei kleinen Kalibern aber weder Pulver noch Zündhütchen. Lediglich bei größeren Kalibern wird eine kleine Sprengladung mit Aufschlagszünder eingesetzt.

**Kleinere Granaten** unterscheidet man im Wesentlichen in **Handgranaten** (relativ leicht und mit einem Sprengstoffanteil von z.T. über 60 % am Gesamtgewicht) und **Gewehrgranaten** (Hohlpanzergranaten, Stahlgranaten, Nebelgranaten). Gewehrgranaten werden über einen im Lauf befindlichen Treibsatz von Gewehren abgeschossen und wiegen zwischen 1 und 1,5 kg.

**Minen** werden in Personenminen, Panzerminen und Seeminen unterteilt. **Personenminen** erreichen ein Gewicht von bis zu 5 kg, wobei der Sprengstoffanteil 10 bis 50 % beträgt. Als Sprengstoff wird meist TNT verwendet. **Panzerminen** haben ein Gewicht von 7 bis 20 kg und können einen Sprengstoffanteil von 90 % aufweisen.

**Abwurfmunition** (Fliegerbomben) ist generell den o.g. Munitionsarten bauähnlich, besteht also aus dem Bombenkörper sowie der Ladung und einem oder mehreren Zündern. Hier sind etwa zu nennen: Splitterbomben, Sprengbomben, Brandbomben und Kombinationen wie Sprengbrandbomben. **Kampfstoffmunition** aus beiden Weltkriegen in ihren vielfältigen Variationen (Gasgranaten, Gaswerferflaschen, Handgranaten, Gasminen, Gewehrgranaten, Wurfkörper, Sprühbüchsen, Bomben etc.) können auch heute noch als Fundmunition oder als Altbestände angetroffen werden. Einen Überblick mit Regelquerschnitten über die Bautypen dieser Munition und deren Wirkstoffe enthalten /1/ und /2/.

Bei Patronengeschossen ist neben dem Geschoss die **Treibladungshülse** (Patronenhülse) ein wichtiger Bestandteil. Sie stellt einerseits die stabile Verbindung von Ladung und Geschoss her und bildet andererseits die Abdichtung zwischen Ladungsraum und Verschluss gegen die Verbrennungsgase. Die Treibladungshülse muss gegenüber der Treibladung korrosionsbeständig sein. Patronenhülsen bestanden/bestehen aus Messing

---

und/oder Stahl bzw. heute auch aus Aluminium-Legierungen. Bei Munition für Handfeuerwaffen und Maschinengewehre wird als Treibladungspulver Schüttpulver in Kugel-, Blättchen oder Röhrenform verwendet. Die Zündung erfolgt durch ein Schlagzündhütchen.

**Zünder** haben einerseits die Aufgabe, Treibladungen anzuzünden und andererseits Sprengladungen oder Gefechtsköpfe zu zünden. Es existieren verschiedene Zündertypen, die je nach Mechanismus als Aufschlag-, Aufschlagzerlege-, Zeit-, Annäherungs- oder Abstandszünder bezeichnet werden. Neben diesen „Grundtypen“ gibt es noch zahlreiche Kombinationen (/3/).

### Literatur:

- /1/ MARTINETZ, D. & RIPPEN, G.: Fachinformationen Rüstungsaltposten. - In: RIPPEN, Handbuch Umweltchemikalien, II-2.6, Loseblattsammlung, Ecomed-Verlag, Landsberg
- /2/ HAMERLA, K. (1989): Kampfstoff- und Kampfmittelherstellung im II. Weltkrieg. Umgang, Gefährlichkeit, Verbleib. In: Expertengespräch Rüstungsaltposten. 25./26. April 1989. Dokumentation der Veranstaltung des Niedersächsischen Umweltministeriums. Hannover
- /3/ RHEINMETALL (1995): Waffentechnisches Taschenbuch. 9. Auflage. Ratingen
- /4/ DEUTSCHE VERSUCHS- UND PRÜF-ANSTALT FÜR JAGD- UND SPORTWAFFEN E.V. (1995): Wiederlader. Vorbereitung und Praxis. Nimrod-Verlag, Suderburg
- /5/ HAHN, F. (1998): Waffen- und Geheimwaffen des deutschen Heeres 1933-1945. 3. Auflage. Bernard & Graefe Verlag, Bonn

### **3.3 Rechtsregelungen und Vorgehensweise bei der Kampfmittelbearbeitung in NRW**

Wie in Kap. 3.5 näher ausgeführt wird, stellen zu vermutende Kampfmittel eine vorrangig zu beachtende Besonderheit zumindest auf nicht vollständig geräumten Spreng- und Brandplätzen dar. Dort besteht zunächst generell latente Detonationsgefahr, weil die Aufgabe der Spreng- und Delaboriereinrichtungen nicht zwangsläufig mit einer vollständigen Entmunitionierung der Flächen einherging.

Da Kampfmittel definitionsgemäß weder Abfall noch Altlasten sind (vgl. Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetz und Bundes-Bodenschutzgesetz), ist der Umgang mit ihnen gesondert zu regeln. Die für NRW im Zusammenhang mit Altlasten relevanten Bestimmungen

und Verfahrensabläufe sind ausführlich in /1/ beschrieben und werden hier nur auszugsweise wiedergegeben:

### **Begriffe / Sachverhalte**

Bei Kampfmitteln handelt es sich nach der Kampfmittelverordnung NW um "gewahrsamslos gewordene Gegenstände militärischer Herkunft und Teile solcher Gegenstände, die

1. Explosivstoffe enthalten oder aus Explosivstoffen bestehen (z. B. Gewehrpatronen, Granaten, Bomben, Zünder, Minen, Spreng- und Zündmittel),
2. Kampfstoffe, Nebelstoffe, Brandkampfstoffe und Reizstoffe enthalten." /2/

Nicht explodierte Kampfmittel aus Bombenabwürfen werden im allgemeinen Sprachgebrauch als "Blindgänger" bezeichnet. Nach Erfahrungen der Kampfmittelräumdienste sind ca. 10 bis 15 % der im Zweiten Weltkrieg abgeworfenen Kampfmittel nicht zur Wirkung gekommen. Dies gilt ebenfalls für Kampfmittel, die nach Ende des Zweiten Weltkrieges auf besonderen Plätzen durch Sprengung vernichtet wurden. Hinzu kommen die Kampfmittel, die während und nach den beiden Weltkriegen meist auf militärisch genutzten Liegenschaften abgelagert oder vergraben wurden. Als **Kampfmittelverdachtsflächen** gelten daher Bombenabwurfgebiete, Notabwurfzonen, Kampfgebiete, Stellungen und Schützengräben, Flak-Stellungen, Bereitstellungsräume, Munitionsanlagen, Lagerbereiche, **Vernichtungsplätze** etc.. Gefährdungen durch Kampfmittel bestehen heute im Wesentlichen durch:

- die Gefahr der Selbstentzündung und Detonation durch äußere Bewegung oder Erschütterung vor allem im Zusammenhang mit Eingriffen in den Boden wie z. B. im Rahmen von Sondierungen, Bohrungen oder Bauarbeiten,
- die Freisetzung der unterschiedlichen Werkstoffe von Kampfmitteln wie z. B. Eisen, Kupfer, Aluminium, Messing, Zinn, Zink,
- die Freisetzung der Inhaltsstoffe der Kampfmittel (Explosivstoffe, chemische Kampfstoffe etc.) /3/.

### **Zuständigkeiten und Vorgehensweise bei der Kampfmittelbearbeitung**

Die Zuständigkeiten und die Vorgehensweise für die Kampfmittelbearbeitung sind in NRW durch die Kampfmittelverordnung, das Ordnungsbehördengesetz und verschiedene Erlasse des Innenministeriums geregelt (s. /2/ und /4/-/7/).

---



Demnach liegt die Zuständigkeit für den Umgang mit Kampfmitteln landesweit beim Innenministerium. Der Schutz der Bevölkerung vor Gefahren, die von Kampfmitteln ausgehen, ist eine Aufgabe der Ordnungsbehörden. Die Aufgabe der Räumung und Vernichtung von Kampfmitteln im Sinne des § 1 der Kampfmittelverordnung NW /2/, von denen Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung ausgehen, werden durch den **Staatlichen Kampfmittelräumdienst (KRD)** bei den Bezirksregierungen (Dezernat 22) wahrgenommen (Gefahrenabwehrmaßnahmen). Auch bei der Ermittlung von Hinweisen auf Kampfmittelablagerungen (Gefahrenerforschung) wird der KRD unterstützend tätig, im Regelfall auf Antrag der zuständigen Ordnungsbehörde. Die Aufgaben des KRD bestehen in der Räumung und Vernichtung von Kampfmitteln aus den beiden Weltkriegen. Für die Bergung von Kampfmitteln der Gegenwart sind dagegen je nach Herkunft die Bundeswehr, die Stationierungstreitkräfte oder die Polizei zuständig. Aufgabe der **Ordnungsbehörden** - ggf. auch des Flächeneigentümers - ist es, die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen zu treffen, eventuell erforderliche Arbeiten vorbereitender oder unterstützender Art durchzuführen bzw. durchführen zu lassen, und dem KRD die benötigten Hilfsmittel bereitzustellen.

Die Kampfmittelräumung "soll so geplant und ausgeführt werden, dass sie systematisch, mit Sorgfalt und unter höchstmöglicher Gewährleistung der Sicherheit durchgeführt werden kann. Auf die Wirtschaftlichkeit der Arbeitsweise ist besonderer Wert zu legen" /6/. Die Kostentragung der Kampfmittelbeseitigung hängt sowohl von den Eigentumsverhältnissen einer Fläche als auch von der Herkunft der Kampfmittel ab. Im Haushalt des Landes Nordrhein-Westfalen werden zur Gewährleistung der Kampfmittelbeseitigung Mittel bereitgestellt und den Bezirksregierungen zugewiesen. In bestimmten Fällen kann auch der Grundstückseigentümer oder der sonstige Veranlasser von Räummaßnahmen zur Kostentragung herangezogen werden /7/.

### Literatur:

- /1/ MEINERS, H. G. ET AL. (1996): Konversion militärischer Liegenschaften: Altlasten/Bodenbelastungen – Lösungsansätze aus der Praxis - Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 12; Düsseldorf
  - /2/ Ordnungsbehördliche Verordnung zur Verhütung von Schäden durch Kampfmittel (Kampfmittelverordnung) vom 03.11.1993. - GV. NW. S. 887
-

- /3/ THAMM, W. (1992): Kampfmittel und Kampfstoffe. Ihre Bedeutung für die Umwelt und Wege zu ihrer Beseitigung. In: Pfaff-Schley & Schimmelpfeng (Hrsg.) (1992): Rüstungsaltslasten '92. Erkundung und Untersuchung von ehemals und aktuell militärisch genutzten Flächen, S. 11 ff.; Berlin
- /4/ Ordnungsbehördengesetz vom 13.05.1980 - GV. NW. S. 528, zuletzt geändert durch Gesetz vom 15.12.1993 - GV. NW. 1994, S. 987
- /5/ Schutz vor den von Kampfmitteln ausgehenden Gefahren - RdErl. d. Innenministers NRW v. 23.05.1985 - V A3 – 5.113; MBI. NW. 1985, S. 865
- /6/ Staatlicher Kampfmittelräumdienst. Organisation, Aufgabenverteilung - RdErl. d. Innenministers NRW vom 29.08.1969 – V A 3 - 1.20; MBI. NW. 1969, S. 1598, geändert durch RdErl. V. 26.11.1970 (MBI. NW 1971, S. 5), 21.06.1982 (MBI. NW 1982, S. 1259)
- /7/ Kampfmittelbeseitigung. Heranziehung der Grundstückseigentümer/Verablasser von Räummaßnahmen zu den Kosten der Kampfmittelräumung. - RdErl. d. Ministeriums für Inneres und Justiz des Landes NRW vom 18.09.1998 - VC3-5.61 -

### **3.4 Techniken der Munitionsortung und -räumung**

#### **3.4.1 Munitionsortung**

Zur Ortung von vermuteter Munition kommen geophysikalische Verfahren zum Einsatz, die Informationen über die Tiefenlage von Schichtgrenzen oder die Existenz von Störkörpern im Boden liefern. Dabei werden Kontraste zwischen den physikalischen Parametern unterschiedlicher Untergrundstrukturen erfasst. Zu diesen Parametern gehören die elektrischen, magnetischen und akustischen Eigenschaften des Untergrundes. Die Änderung dieser Parameter kann durch unterschiedliche geologische Einheiten, Störungen, differierende Wasserführung aber auch durch Störkörper hervorgerufen werden. Bei der Untersuchung von Rüstungsaltslasten können beide Fälle wesentlich sein, etwa zur Erkennung geologischer Barrieren aber auch zur Ortung von Munition oder unterirdischen Bauwerksresten (Fundamente etc.). Die sogenannten ingenieurgeophysikalischen Methoden haben im Gegensatz zu anderen, eher wissenschaftlich orientierten Methoden den Vorteil, dass sie speziell für praktische Anwendungen entwickelt und ausgelegt wurden, und daher in einer vergleichsweise kurzen Zeit sowie mit robusten Geräten ausführbar sind.

Die Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen werden in sogenannten Anomalienkarten oder -profilen dargestellt, die grundsätzlich einer fachkundigen Interpretation bedürfen. Auch diese sind aber nicht immer eindeutig. Insbesondere bei anthropogenen Auffüllungen oder in innerstädtischen bzw. Industriegebieten (Vorhandensein sonstiger metallischer Störkörper im Untergrund wie z.B. Leitungen, armierter Beton o.ä.) ist eine

abschließende Deutung der Anomalien meist nicht möglich. In allen hier bearbeiteten Fällen waren zusätzliche Erkundungen des Untergrundes mit leichtem (z.B. Spaten) oder schwerem Gerät (Bagger) unter Begleitung des KRD erforderlich.

Die Auswahl eines oder mehrerer geeigneter Verfahren richtet sich nach der erforderlichen lateralen und vertikalen Auflösung sowie nach der erforderlichen Betrachtungstiefe. Grundsätzlich existieren Verfahren der Magnetik, Seismik, Geoelektrik, Bodenradar und Sonar, die auch kombiniert angewendet werden. Die Prinzipien werden nachfolgend kurz beschrieben, ausführliche Darstellungen über den Einsatz geophysikalischer Verfahren im Bereich von Altlastuntersuchungen finden sich etwa in /1/ - /3/.

**Geomagnetische Verfahren** zeichnen Anomalien des natürlichen Magnetfeldes auf, die durch metallische Störkörper im Untergrund wie z.B. Munition oder armierte Bauwerksreste erzeugt werden. Bei **elektromagnetischen Induktionsverfahren** werden elektromagnetische Felder in den Untergrund abgestrahlt und ein durch den Untergrund verändertes Feld am Empfänger registriert. Diese Verfahren dienen vornehmlich der Kartierung lateraler Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes und sind besonders geeignet zur Erfassung von metallischen Objekten. Beim Einsatz von **Georadar** werden elektromagnetische Wellen an der Erdoberfläche erzeugt und mittels einer Antenne in den Untergrund transmittiert. Die zur Oberfläche reflektierten und refraktierten Wellen lassen sich anschließend mit derselben Antenne registrieren. Die Auflösung erkennbarer Strukturen ist von der gewählten Frequenz der elektromagnetischen Wellen abhängig und liegt im Bereich von wenigen Dezimetern bis zu einigen Metern.

### 3.4.2 Munitionsräumung

Zur Räumung vorhandener Altmunition im Boden sind unterschiedliche Ansätze möglich. Nachfolgend werden beispielhaft Techniken beschrieben, die bei der Bearbeitung einiger Modellstandorte zum Einsatz kamen.

#### **Arbeiten mit Großgerät: Standort Lahnhof**

Auf diesem Standort waren 16 Trichter mit Durchmessern von bis zu 16 m und Tiefen von etwa 8 m zu räumen. Zum Einsatz kam hier Großgerät: Tieflöffelhydraulikbagger, Radlader und eine Aufbereitungsanlage mit Aufgabestation, Siebeinrichtungen und Magnetabscheider. Die Trichter wurden ausgebagert, der Aushub nahegelegenen aufgehaldet und

---

anschließend mit Hilfe des Radladers auf die Aufbereitungsanlage aufgegeben. Dort erfolgte eine Fraktionierung des munitionshaltigen Aushubs und Abtrennung von Munition und Munitionsteilen. Das aufbereitete Material wies keine Schrottteilchen über 1,4 mm mehr auf. Die Munition wurde manuell an dafür vorgesehenen Stationen sortiert und weitgehend von anhaftenden Bodenteilen gereinigt. In vergleichbarer Weise erfolgte die Räumung der Sprengplätze im Bereich des ehemaligen Fliegerhorstes Kirchhellen.

#### ***Arbeiten mit kleinem Gerät: Streubereich ehemaliger Fliegerhorst Kirchhellen***

Während der Untersuchung der ehemaligen Sprengplätze auf dem alten Fliegerhorst Kirchhellen wurde der nördliche Streubereich durch eine Vertragsfirma des zuständigen KRD bearbeitet. Diese unterteilte zunächst das betreffende Areal in Planquadrate und pflöckte sie im Feld aus. Die Ortung der Munition(-sreste) erfolgte mit Hilfe kleiner Sonden (geomagnetisches Verfahren). Traten Anomalien auf, wurde der betreffende Punkt von Hand aufgedigelt, das Material an einer dafür eingerichteten Station gesichtet, sortiert und Munition bzw. Munitionsschrott ausgesondert. Die Entsorgung erfolgte im nahegelegenen Zerlegebetrieb Hünxe.

#### ***Räumung eines Sprengbunkers: Standort Monschau-Alzen***

Nach einer Sicherung des Bauwerkes gegen Staubaustritt und Einrichtung der Baustelle wurden die Grabarbeiten aufgrund der beengten Räumlichkeiten manuell durchgeführt. Zur Belüftung der bis auf den Eingangsbereich (Materialschleuse) abgeplanten Bunkeranlage diente eine Absauganlage. Die Überwachung der Luftqualität erfolgte kontinuierlich sowohl über einen PID mit 10,2 eV-Lampe als auch durch die Messung der Konzentrationen von Sauerstoff, Schwefelwasserstoff, Methan und Kohlendioxid. Für den Zweifelsfall wurden Gasmessröhrchen für die halbquantitative Bestimmung toxischer Spurenstoffe (chemische Kampfstoffe, Arsin, Phosphin etc.) vorgehalten. Zum Personenschutz wurden neben dem bei Arbeiten auf kontaminierten Standorten üblichen Mindestschutz tlw. Staubschutzmasken bzw. im Einzelfall auch Masken mit ABEK-Filter verwendet. Des Weiteren wurden die üblichen begleitenden arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen durchgeführt. Der wichtigste Faktor des Personenschutzes war permanente Begleitung durch den KRD. Das abgegrabene Material wurde in Chargen von ca. 40 kg durch den die Arbeiten begleitenden KRD von Munition und Munitionsteilen befreit und anschließend in wasserdichten und abgedeckelten Containern zur Entsorgung bereit gestellt. Nach der Räumung fand eine Feinreinigung des Bunkerinneren durch Absaugung statt. Insgesamt wurden so ca. 40 t Bunkererde und Felsschutt behandelt und 98 kg Munition bzw. Munitionsschrott beseitigt.

---

### Literatur:

- /1/ VOGELSSANG, D. (1991): Geophysik an Altlasten. - 136 S.; Springer Verlag, Berlin u.a.
- /2/ SEBULKE, J. (1992): Stand der Geophysik - Möglichkeiten und Grenzen. In: THOMÉ-KOZMIENSKY ET AL. (HRSG.): Management zur Sanierung von Rüstungsaltslasten - 553-571; EF-Verlag, Berlin
- /3/ RÜTER, H. & ELSEN, R. (1989). Geophysikalische Methoden bei der Altlastenerkundung. In: THOMÉ-KOZMIENSKY (HRSG.): Altlasten 3, EF-Verlag, Berlin
- /4/ TELFORD, W. M. ET AL. (1976): Applied Geophysics. Cambridge University Press

### **3.5 Standorttypische Belastungen**

Die bisher auf Spreng- und Brandplätzen durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass **nicht generell** mit erheblichen Kontaminationen durch nutzungstypische Stoffe zu rechnen ist. Vielmehr müssen in jedem Einzelfall Betrachtungen im Hinblick auf besondere Risikofaktoren angestellt werden. Dazu gehören vor allem:

- Vorhandensein von Altmunition
- Verdacht auf Bodenbelastungen
- Verdacht auf Grund- und Oberflächenwasser-Verunreinigungen
- Potenzielles Schadstoffinventar
- Mögliche Umsetzungsreaktionen

#### 3.5.1 Munitionsfunde

Munition oder Munitionsteile auf Spreng- und Brandplätzen können durchaus auch an der Geländeoberfläche oder unter wenigen Zentimetern Laubdecke gefunden werden. Dieses ist um so kritischer einzustufen, wenn die Areale nicht komplett eingezäunt sind. Einige der untersuchten, nicht (komplett) geräumten Spreng- und Brandplätze liegen frei zugänglich in Erholungs- und Jagdgebieten. Die Munition kann aber auch in größeren Tiefen lagern und bei Erkundungsarbeiten trotz einer Überprüfung durch den KRK im Bohrröhr oder mit dem Bagger gefördert werden. Geländearbeiten sollten daher je nach den Gegebenheiten des Einzelfalls auch unter ständiger **Begleitung des Kampfmittelräumdienstes** erfolgen, da **latente Detonationsgefahr** besteht.

---

Bei früheren Sprengungen auf Freiflächen können Munitionsteile infolge der freigesetzten Energie einige 100 m weit in die Umgebung geschleudert worden sein (**Streubereiche**). Untersuchungen solcher Bereiche ergaben bisher jedoch meist nur Splitter in der Oberbodendecke.

Bei ehemaligen Massensprengungen wurde nur ein Teil der Munition tatsächlich vernichtet. Stattdessen drangen noch funktionsfähige Geschosse in Kraterwände ein oder wurden in das umliegende Gelände geschleudert. Die aufzufindende Munition kann durchaus noch zündfähig sein und ist zusätzlich zum Teil angesprengt. Nach den Erfahrungen muss zudem davon ausgegangen werden, dass in der Vergangenheit Munitionsstücke nicht immer sachgemäß behandelt und z.T. wesentliche Bauteile wie Sicherungsstifte bei Handgranaten nur provisorisch ersetzt wurden. Weiterhin kann die Munition je nach Alter und Lagerung auch durch Korrosion beschädigt sein. Der Fortschritt der Korrosion hängt dabei im Wesentlichen vom Ausgangsmaterial, der Oberfläche, vom Luftzutritt, der Feuchte und von physiko-chemischen Bedingungen (pH-Wert, nicht zueinander passende Werkstoffe [elektrochemische Korrosion, Lochfraß]) ab.

### 3.5.2 Bodenbelastungen

Aus Munitions-Beschädigungen können Austritte von organischen und anorganischen Wirkstoffen in die Umgebung resultieren. Hierzu zählen Explosiv- und/oder Kampfstoffe, Zusatzstoffe wie z.B. Hexachlorethan, aber auch elementares Aluminium, elementares Magnesium, Carbide oder Phosphor, die im Kontakt mit dem Umgebungsmilieu zu Gasbildungen führen können. Möglich ist auch die Bildung toxischer Reaktionsprodukte oder eine Selbstentzündung (weißer Phosphor oder elementares Aluminium in Zusammenhang mit Reibungshitze).

Bei Spreng- und Brandplätzen auf Freigeländen sind vordringlich die Sprengkrater (verfüllt oder nicht verfüllt) und die Brandplätze im Hinblick auf mögliche Untergrundverunreinigungen von Belang. Darüber hinaus besitzen bzw. besaßen diese Einrichtungen aber auch eine spezielle Infrastruktur mit Unterkünften, Maschinen und Geräten, Munitions-Sammelstellen, Arbeitsplätzen zur Munitionssortierung, Feuerlöschteichen, Klärbecken etc. Wie die durchgeführten Untersuchungen gezeigt haben, sind gerade bei den letztgenannten Einrichtungen signifikante Belastungen z. B. mit STV, Cyaniden, Metallen und Phosphor möglich. Die zu untersuchenden Flächen sind wie folgt einzuschätzen:

---

Der **Oberboden im Streubereich** ist i.d.R. kaum belastet. Dort können aber im Einzelfall Kontaminationen z.B. durch Munitionsreste vorliegen. Bei **geräumten und entschroteten Arealen auf Freiflächen** ist der Verdacht auf Bodenbelastungen ebenfalls relativ gering. Wurden die Flächen mit großem Gerät geräumt, so resultiert dies möglicherweise aus dem nicht zu unterschätzenden aber auch nicht vermeidbaren Verdünnungseffekt durch das dabei erfolgte „Handling“ des Bodens (Aushub und Behandlung in Sieb- bzw. Magnet-Abscheideanlagen). Allerdings können auch geringe Feststoffkonzentrationen von STV aufgrund der hohen Mobilität durchaus erhebliche Stoffmengen in das Sicker- / Grundwasser abgeben. Sind geräumte Areale rekultiviert worden, so ist darauf zu achten, ob eventuell kontaminierte Materialien aus anderen Bereichen der Anlagen eingebaut wurden (etwa Materialien aus Klär- oder Feuerlöschteichen, PAK-haltige Oberflächenbefestigungen von Baustraßen, kontaminierte Bauschuttreste). Bei den zur Infrastruktur der Areale gehörenden **Arbeitsflächen** sind vor allem Sortierstellen (durch an Munitionskörpern anhaftende Bodenreste und kleine Schrott-Teilchen) sowie schlamm- bzw. wassergefüllte Becken und Trichter (Feuerlöschteiche oder Wasserreservoirs) als kontaminationsverdächtig einzuschätzen.

Betrachtet man **Areale auf Freiflächen, die noch nicht geräumt wurden**, so gehen signifikante Belastungen vor allem mit vorhandenen Munitionsresten einher. In Proben, in denen optisch Wirkstoffe oder Munitionsreste erkennbar waren, wurden auch entsprechend hohe Belastungen im Labor nachgewiesen. Es ist davon auszugehen, dass in Nestern mit nicht oder nur teilweise zerstörter Munition i.d.R. auch entsprechende Kontaminationen auftreten.

**Spreng- oder Brennbunker** sind als Sonderfälle zu betrachten. Bei solchen Einrichtungen ist generell davon auszugehen, dass in der Bunkererde oder in Staubablagerungen auf der Bausubstanz erhebliche Konzentrationen an STV vorliegen. Charakteristisch für diese Anlagen ist zum einen, dass es sich dabei nicht um vollkommen geschlossene Gebäude handelt, sondern dass zur Ableitung der Druckwellen und Rauchgase Öffnungen vorhanden sind. Zum anderen wurde in solchen Anlagen die Munition auf kleinem bis kleinstem Raum konzentriert vernichtet. In den untersuchten Sprengbunkern geschah bzw. geschieht dieses in eigens dafür vorgesehenen, unterirdischen Sprenggruben, in denen die Munition nach Einlagerung mit Sand (Bunkererde) abgedeckt wird. Die durch die Sprengung entstehende Druckwelle transportiert auch Feststoffe in einer zuerst komplexen Wolke durch die Öffnungen (wie Scharten, Türöffnung, Abzugsspalten, Risse in

---

der Bausubstanz etc.) nach außen. Nach dem Austritt werden die Feststoffe dieser "Staubwolke" in Abhängigkeit von ihrer Korngröße weitertransportiert, bevor sie auf die Geländeoberfläche absinken. Bei den bisher durchgeführten Untersuchungen wurden jedoch in Oberbodenproben im näheren Umkreis der Bunker nur in Einzelfällen signifikante Belastungen gefunden.

### 3.5.3 Grund- und Oberflächenwasserverunreinigungen

Im Hinblick auf mögliche Grund- und Oberflächenwasserverunreinigungen ist besonders darauf zu achten, ob auf (Teil-)Flächen STV-haltige Materialien gelagert wurden. Falls ja, können von diesen erhebliche Gewässerverunreinigungen ausgehen. Dies ist vor allem dann möglich, wenn sie saisonal oder permanent grundwasserbeeinflusst sind („nasser Fuß“), wie etwa in den Beispielfällen die Sprengbunker und die Sprengplätze des Fliegerhorstes Kirchhellen. Bedingt auch durch die Jahrhunderthochwässer in den letzten Jahren wurden dort im Abstrom Grundwasserbelastungen von bis zu 60.000 µg/l an nitroaromatischen Verbindungen gemessen.

Zu beachten ist weiterhin ein möglicher Langzeitaustrag aus Böden mit Restbelastungen über den Oberflächenabfluss. Als Beispiel seien auch hier die Sprengplätze des ehemaligen Fliegerhorstes Kirchhellen genannt, bei denen im Oberflächenwasser, das über mehrere hundert Meter lange Dränsysteme der Vorflut zugeleitet wird, immer noch Spuren an STV vorhanden sind.

### 3.5.4 Schadstoffinventar

Bezüglich der bei Rüstungsaltslasten auftretenden Schadstoffe, insbesondere der in Munition auftretenden Wirkstoffe, deren Chemie, Toxikologie und Ökotoxikologie wurden in den letzten Jahren eine Reihe praxisrelevanter Werke herausgegeben, die Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung von Untersuchungen enthalten (s. auch Literaturzitate am Ende dieses Kapitels). Die nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die wichtigsten Kontaminanten.

---



**A) Explosivstoffe**

- A.1 Sprengstoffe
- A.2 Sprengstoffgemische
- A.3 Rauchschwache Pulver
- A.4 Initialsprengstoffe (Zündmittel)
- A.5 Raketentreibstoffe
- A.6 Pyrotechnika

**B) Nebelstoffe****C) Brandmittel****D) Chemische Kampfstoffe****A) Explosivstoffe**

Die Explosivstoffe lassen sich gemäß /1/ nach ihrer Wirkungsweise bzw. praktischen Anwendung in folgende Gruppen unterteilen:

*A.1 Sprengstoffe (incl. Vor-, Zwischen- und Abbauprodukten sowie Stabilisatoren)*

Die auf Rüstungsaltslasten wesentlichen Vertreter dieser Gruppe sind in Tab. 1 aufgeführt. Die Tabelle enthält ebenfalls häufig verwendete Abkürzungen/Synonyme und die wichtigsten ehemaligen Anwendungsbereiche für die einzelnen Stoffe.

*A.2 Sprengstoffgemische*

- Ammonsalpetersprengstoffe, pulverförmig oder gelatinös:
    - Ammonite: Ammoniumnitrat + TNT + Aluminiumpulver
    - Donarite: Ammoniumnitrat + Holzmehl + Nitroglycerin oder Nitroglykol
    - Ammon-Gelite: Ammoniumnitrat + geliertes Nitroglykol, Nitropenta oder Hexogen
  - Chloratsprengstoffe
  - Dynamite (Hauptbestandteil Nitroglycerin) z.B.:
    - Gurdynamit: Nitroglycerin + Kieselgur
    - Mischdynamit: Nitroglycerin + Natriumnitrat + Holzmehl + Kreidepulver
    - Sprengelatine: Nitroglycerin + Collodiumwolle
  - Flüssigsprengstoffe (Oxyliquite): flüssiger Sauerstoff + Holzmehl + Aluminiumpulver
  - Schwarzpulver: Kaliumnitrat + Holzkohle + Schwefel
  - Sprengsalpeter: Natriumnitrat + Holzkohle + Schwefel
-

Name	Synonym/ Abkürzung	CAS-Nr.	Bemerkung
2-Nitrotoluol	2-NT	88-72-2	Vorprodukte von TNT, Komponenten in Spreng- stoffgemischen
3-Nitrotoluol	3-NT	99-08-1	
4-Nitrotoluol	4-NT	99-99-0	
o-Toluidin	Aminotoluole Methylaniline	95-53-4	Abbauprodukte von MNT
m-Toluidin		108-44-1	
p-Toluidin		106-49-0	
2,3-Dinitrotoluol	2,3-DNT	602-01-7	Vorprodukte von TNT, Komponenten in Spreng- stoffgemischen, Zusätze in Pulvern
2,4-Dinitrotoluol	2,4-DNT	121-14-2	
2,6-Dinitrotoluol	2,6-DNT	606-20-2	
3,4-Dinitrotoluol	3,4-DNT	610-39-9	
2-Amino-4-Nitrotoluol	2-A-4-NT	99-55-8	Abbauprodukte von DNT
2-Amino-6-Nitrotoluol	2-A-6-NT	603-83-8	
2,4,6-Trinitrotoluol	2,4,6-TNT	118-96-7	häufigster Sprengstoff
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	2-A-4,6-DNT	35572-78-2	Abbauprodukte von TNT
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	4-A-2,6-DNT	19406-51-0	
1,3-Dinitrobenzol	1,3-DNB	99-65-0	Ersatzsprengstoff
1,2-Dinitrobenzol	1,2-DNB	528-29-0	Begleitsubstanzen von 1,3-DNB
1,4-Dinitrobenzol	1,4-DNB	100-25-4	
1-Chlor-2,4-Dinitrobenzol	1-Cl-2,4-DNB	97-00-7	Ersatzsprengstoff, Zwischenprodukt verschiedener Sprengstoffe
1,3,5-Trinitrobenzol	1,3,5-TNB	99-35-4	Sprengstoff
1,5-Dinitronaphthalin	1,5-DNN	605-71-0	Bestandteile von Sprengstoffgemischen, Zwischenprodukte von TNN
1,8-Dinitronaphthalin	1,8-DNN	27478-34-8	
1,3,5-Trinitronaphthalin	1,3,5-TNN	2243-94-9	Bestandteile von Sprengstoffgemischen
1,3,8-Trinitronaphthalin	1,3,8-TNN	-	
1,4,5-Trinitronaphthalin	1,4,5-TNN	-	
Hexogen	RDX	121-82-4	Sprengstoffe
Hexanitrodiphenylamin	Hexyl	131-73-7	
Nitropenta	Pentaerythrit- tetranitrat, PETN	78-11-5	
Octogen	HMX	2691-41-0	
Tetranitrodiphenylamin	Tetryl	479-45-8	
2,4,6-Trinitrophenol	Pikrinsäure, PA	88-89-1	Bestandteile von Sprengstoffen, Pulvern und Treibmitteln
Dinitroglykol	Ethylenglykol- dinitrat, EGDN	628-96-6	
Dinitrodiglykol	Diethylenglykol- dinitrat, DEGN	693-21-0	
Nitrocellulose	NC	9004-70-0	
Nitroguanidin	NQ	556-88-7	
Trinitroglycerin	TNG, NG, Nitroglycerin	55-63-0	
Diphenylamin	DPA	122-39-4	Stabilisator für Pulver und Treib- mittel
2-Nitrodiphenylamin	2-N-DPA	119-75-5	Reaktionsprodukte der (Pulver-) Stabilisierung
4-Nitrodiphenylamin	4-N-DPA	836-30-6	

**Tab. 1:** Die wichtigsten sprengstofftypischen Verbindungen auf Rüstungsaltslasten  
(aus: /8/).

In /1/ sind mehr als 150 weitere Sprengstoffgemische aus dem zweiten Weltkrieg zusammengestellt, die fast ausschließlich aus den o.g. Hauptbestandteilen bestehen.

Als Zusatzstoffe können auftreten:

- Steinsalz
- PH-Salz
- Wachs
- Kaliumchlorid
- Al- und Zn-Grieß
- Kalksalpeter

---

#### A.3 Rauchschwache Pulver

Wichtig sind hier vor allem:

- Nitrocellulosepulver
- Nitroglycerinpulver
- Diglykolpulver
- Nitroguanidinpulver

Die Pulver werden als Treibmittel bei Patronen und Kartuschen sowie als feste Raketentreibstoffe verwendet. Den Hauptbestandteil bildet meist Nitrocellulose. Die Pulver beinhalten oft Diphenylamine und Harnstoffderivate als Stabilisatoren gegen Zersetzung durch abgespaltene Stickstoffoxide. Als Geliermittel werden insbesondere Kampfer, Hartparaffin und Phthalate verwendet. Zusätzlich enthalten einige Pulver Kaliumsulfat zur Verminderung von Mündungsfeuer und/oder Aluminiumpulver bzw. -grieß zur Erhöhung der Gasschlagwirkung. Je nach der äußeren, optischen Form werden Bezeichnungen wie Nudel-, Blättchen-, Röhren-, Platten- oder Streifenpulver verwendet.

#### A.4 Initialsprengstoffe (Zündmittel)

- Bleiazid
  - Bleipikrat
  - Bleitrinitroresorcinat
  - Diazodinitrophenol
  - Quecksilberfulminat
  - Tetracen
  - Acetylenkupfer
-

Zündmittel reagieren auf Schlag, Reibung oder Funken. Sie kommen in wesentlich geringeren Mengen als Sprengstoffe vor, sind jedoch aus Gesundheitsgründen zu beachten (besonders das Nervengift Tetracen sowie die gesundheitsschädlichen Stoffe Bleiazid, Bleitritroresorcinat und Quecksilberfulminat).

#### A.5 Raketentreibstoffe

Raketentreibstoffe liegen in flüssiger oder fester Form vor und enthalten jeweils eine Brennstoffkomponente und einen Sauerstoffträger.

Sauerstoffträger bei Flüssigtreibstoffen sind z. B.:

- flüssiger Sauerstoff
- Ozon
- Wasserstoffperoxyd
- Salpetersäure
- Stickstoffperoxyd
- Tetranitromethan
- Oxyfluorverbindungen

Beispiele für Brennstoffe bei Flüssigtreibstoffen sind:

- flüssiger Wasserstoff
- Alkane
- Aromate
- Naturbenzine
- Alkohole
- Hydrazin
- Dimethylhydrazin
- Anilin
- Xylidin
- Triethylamin
- Borwasserstoffe

Die festen Treibstoffe sind entweder Doppelbasis- oder Composite-Treibstoffe. Die erstgenannten sind Mischungen aus Nitroglycerin und Nitrocellulose. Bei den Composite-Treibstoffen können als Sauerstoffträger Ammoniumnitrat oder Ammoniumperchlorat

---

auftreten. Ihre Brennstoffe sind Polymere wie z. B. Polyurethan, Nitrocellulose. Die sog. *Katergole* verwenden als Treibstoff 80%iges Wasserstoffperoxyd mit Kaliumpermanganat als Katalysator. Bei den *Lithergolen* werden leichte Elemente wie Lithium, Aluminium oder Beryllium mittels flüssiger Sauerstoffträger verbrannt.

#### A.6 Pyrotechnika

Pyrotechnische Sätze werden bei Leucht- und Signalmunition, Leuchtkörpern und Leuchtbomben sowie bei Brandmitteln und Nebelsätzen verwendet. Als Oxidationsmittel dienen:

- CKW (Hexachlorcyclohexan, Hexachlorethan)
- Oxide, Peroxide
- Nitrate
- Chlorate, Perchlorate, Chromate, Permanganate und Bromate

Reduzierende Stoffe bei pyrotechnischen Erzeugnissen sind z. B.

- Metallpulver
- Schwefel
- Phosphor
- Metallhydride
- Milchzucker
- Holzkohle

Als flammenfärbende Mittel wurden Metalloxalate, Metallchloride und Metallcarbonate verwendet.

Fließmittel sind Kieselsäure oder Kunststoffe.

#### B) Nebelstoffe

Bei künstlichen Nebeln wird unterschieden zwischen:

- Schutz- und Signalnebel
  - Tarnnebel
  - Giftnebel
-

Die wichtigsten Nebelstoffe sind:

- **Öle:**  
Verdampfung bei hohen Temperaturen oder unvollständige Verbrennung von Öl
- **Phosphornebel:**  
Verbrennung von elementarem Phosphor zu Phosphorpentoxid
- **Schwefelsäurenebel:**  
Schwefeltrioxid: gelöst in Schwefelsäure (= Oleum, Nebelsäure)  
Chlorsulfonsäurenebel: reagiert mit Luftfeuchte unter intensiver Nebelbildung und Zersetzung in Salzsäure und Schwefelsäure
- **Sulfurchloridnebel:**  
Die Flüssigkeit zersetzt sich mit Wasser oder Luftfeuchte unter Nebelbildung in Salzsäure und Schwefelsäure.
- **Säurechloridnebel:**  
Siliciumtetrachloridnebel: Die Flüssigkeit zersetzt sich mit der Luftfeuchte unter Nebelbildung in Kiesel- und Salzsäure.  
Titanchloridnebel: Die Flüssigkeit bildet mit Wasser Titanhydroxid und Salzsäure.  
Zinntetrachloridnebel: Zinntetrachlorid bildet mit der Luftfeuchte ein Gemisch aus Säurenebel und Zinndioxidrauch.
- **Zinknebel:**  
Die bekannteste Variante ist die sog. "Berger-Mischung". Die Wirkung beruht auf der bei Erwärmung heftigen Reaktion von Zinkstaub mit aliphatischen organischen Chlorverbindungen (z. B. Hexachlorethan, Tetrachlorkohlenstoff) unter Bildung von Zinkchloridpartikeln und feinstverteiltem Kohlenstoff. Als Zündmittel dienten Mischungen aus Eisenpulver und Kaliumpermanganat (Ignit). Bei Abbrennen der Mischung kann Phosgen gebildet werden.
- **Ammoniumnebel (Salmiaknebel):**  
Reaktion von gasförmigem Ammoniak mit einer starken Mineralsäure, in der Regel Salzsäure
- **Kunststoffnebel:**  
Verwendung von Abfällen aus der Kunststoffindustrie (Phenolformaldehydharze, Gummi, synthetischer Kautschuk etc.)

Als *Zusätze* zu Nebelstoffen können chemische Kampfstoffe oder Farbstoffe, in neuerer Zeit auch Desinfektions-, Entseuchungs- oder Entgiftungsmittel zum Einsatz kommen. Selten sind Metalle oder Legierungen in Staubform als Störmittel gegen Funk und Radar

---

möglich. /1/ enthält auch eine ausführliche Darstellung der verwendeten Nebelmunition und ihrer Zusammensetzung.

### C) Brandmittel

Die wichtigsten Vertreter der Brandmittel sind:

- Kaliumchlorat + Magnesium/Aluminium
- Brandmittel mit Kerosin, Benzin, Harzen
- weißer Phosphor
- Thermit (25 % Al, 75 % Al-Oxid oder Fe-Oxid)
- Thermitsätze (13 % Al, 12 % Mg, 44 % Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 6 % KNO<sub>3</sub>, 21 % Fe-Oxid, 4 % Bindemittel)
- Thermat
- Napalm (mit Al-Salzen von Naphthensäuren und der Palmitinsäure geliertes Kerosin oder Benzin) + weißer Phosphor
- Napalm + Natrium

### D) Chemische Kampfstoffe

Als chemische Kampfstoffe wurden / werden eine Vielzahl von festen, flüssigen oder gasförmigen Verbindungen verwendet, wobei bei Beute- oder Fundmunition durchaus auch noch Bestände aus dem I. Weltkrieg vorkommen können. In der Hauptsache wurden Arsen-, Phosphor-, Organochlor-, Organoschwefel- und Cyanoverbindungen eingesetzt. Diese Stoffe lassen sich nach ihrer Wirkung grob wie folgt klassifizieren:

Augen-reizstoffe (Weißkreuz)	Nasen- und Rachen-reizstoffe (Blaukreuz)	lungen-schädigend (Grünkreuz)	hautschädigend (Gelbkreuz)	atemhemmend	nerven-schädigend
Bromaceton Chloraceton	Diphenylarsin-chlorid (Clark I)	Phosgen	Dichlordiethyl-sulfid (S-Lost, 'Senf-gas')	Cyan-wasserstoff (Blausäure)	Tabun (GA)
Brombenzyl-cyanid	Diphenylarsin-cyanid (Clark II)	Diphosgen (Perstoff)	Trichlorethylamin (N-Lost)	Chlorcyan	Sarin (GB)
Chloraceto-phenon (Omega-Salz)	Phenarsazin-chlorid (Adamsit)	Chlorpikrin	Chlorvinylarsin-dichlorid (Lewisit)		Soman (GD)
Xylylbromid	Phenylarsin-dichlorid (Pfiffikus)	Triphosgen	Methylarsin-dichlorid (Medikus)		VX
Xylylenbromid	Arsinöl	Chlor	Phosgenoxim		

**Tab. 2:** Übersichtsgliederung der wichtigsten Vertreter chemischer Kampfstoffe

/1/ enthält weiterhin eine umfangreiche Zusammenstellung der chemischen Kampfstoffe mit Angaben zu ihrer Chemie, Toxikologie und Ökotoxikologie.

### 3.5.5 Beispielhafte Umsetzungsreaktionen

An einigen Untersuchungsstellen fanden bei der Probennahme unerwartete Gasentwicklungen statt. Nach Versetzen der auffälligen Bodenproben (in einem Fall wurden blaue Kristalle beobachtet) mit destilliertem Wasser, mit Natronlauge bzw. mit 5%iger Salzsäure war im Gefäß mit der Salzsäurezugabe eine heftige Gasentwicklung zu beobachten. Unter der Flamme ergab sich eine Verpuffung. Es war davon auszugehen, dass eine Wasserstoffentwicklung stattfand. Dieses Ergebnis ließ auf die Existenz von elementarem Aluminium und/oder elementarem Magnesium schließen. Eine röntgendiffraktometrische Untersuchung (XRD-Analyse) ergab ausschließlich elementares Aluminium, die chemische Laboranalyse folgende Zusammensetzung der Kristalle:

Al: 30-50 %,

Cu: 0,5-1 %,

< 0,5%: Zn, Fe, Mn, Cr, Pb, Hg, Mg, Na, Ca, Oxide, Carbonate

Elementares Aluminium und/oder elementares Magnesium werden im Rahmen der Munitionsherstellung z. B. bei Nebelstoffen und zur Herstellung von Stabbrandbomben ver-



wendet und können im Gelände je nach den physikochemischen Gegebenheiten zu den beobachteten Reaktivitäten führen.

### Literatur:

- /1/ MARTINETZ, D. & RIPPEN, G.: Fachinformationen Rüstungsaltslasten. - In: RIPPEN, Handbuch Umweltchemikalien, II-2.6, Loseblattsammlung, Ecomed-Verlag, Landsberg
  - /2/ KLIMMEK, R., SZINICZ, L. & WEGER, N. (1983): Chemische Gifte und Kampfstoffe, Wirkung und Therapie, Hippokrates Verlag, Wiesbaden
  - /3/ LOHS, K. (1963): Synthetische Gifte, Dt. Militärverlag, Berlin
  - /4/ UMWELTBUNDESAMT (1996): Bestandsaufnahme von Rüstungsaltslastverdachtsstandorten in der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 2 Explosivstofflexikon, Texte 26/96, Berlin
  - /5/ UMWELTBUNDESAMT (1996): Bestandsaufnahme von Rüstungsaltslastverdachtsstandorten in der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 3 Kampfstofflexikon, Texte 27/96, Berlin
  - /6/ UMWELTBUNDESAMT (1996): Bestandsaufnahme von Rüstungsaltslastverdachtsstandorten in der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 4 Übungs-, Nachweis- und Entgiftungsmittel, Texte 28/96, Berlin
  - /7/ HUNOLD, G. A. (1951): Gesundheitsschädliche Gase in einer Aluminiumgießerei; Chemiker Zeitung, Nr.8, S. 146 f., 1951
  - /8/ OBERNOSTERER, I., MÜLLER, J. & BRUCKERT, H.-J. (1999): Kriterien zur Beurteilung und Deponierung von kontaminierten Materialien aus Rüstungsaltslasten, Phase II. - Abschlussbericht eines Untersuchungsvorhabens im Auftrag des Landesumweltamtes NRW; Düsseldorf
-

### 3.6 Hinweise aus Geländebegehungen

Hinweise auf die Existenz von Alteinrichtungen oder von Schadstoffen können im Gelände etwa anhand von Munitionsresten und -teilen, durch die in Kap. 3.8 beschriebenen Schnelltests, bei Kartierungen und bei Probennahmen gewonnen werden.

Geländebegehungen sind grundsätzlich als wichtige Ergänzung zur Standortrecherche anzusehen. In Luftbildern und/oder (älteren) topographischen Karten sind oft Anlagen und Geländeformen erkennbar, die bzw. deren Reste auch heute noch anzutreffen sind. So sind beispielsweise in manchen Karten Spreng- und Brandplätze, Trichter oder Grabensysteme (Schützen- und Splitterschutzgräben) dargestellt. Es hat sich bewährt, die Ergebnisse der Standortrecherche im Gelände zu überprüfen und kartographisch festzuhalten. Bei diesen Begehungen, die mit leichtem Werkzeug (Hacke, Spaten) durchgeführt werden können, sind in der Regel weitere Hinweise auf ehemalige Tätigkeiten zu finden. Dabei kann es sich in Waldgebieten z.B. um Teilabholzungen handeln, die in linienhafter oder rasterförmiger Ausbildung Äste und Gestrüpp bis zu einer Höhe von ca. 1,8 m (= Kopfhöhe) beseitigt haben. Die so geschaffenen Schneisen dienen im Bereich von Spreng- und Brandplätzen dem Kampfmittelräumdienst als Suchschneisen. Ebenso sind u.U. alte Lagerplätze, Aufhaldungen, Hangvorschüttungen, Teiche, Dränagesysteme etc. zu finden.

Bereiche mit Wachstumsanomalien stellen weitere Hinweise auf Schadstoffe bzw. auf chemische Reaktionen im Boden dar. So können etwa Sulfide im Untergrund bei entsprechenden Bedingungen Schwefelsäure bilden und im Boden niedrige pH-Werte von 2-3 erzeugen. Da heimische Pflanzen eher neutrale bis leicht basische pH-Bedingungen bevorzugen, sind in solchen Bereichen Aufwuchsschäden zu erwarten. Reste von Abbrandaktivitäten können mitunter durch das Vorkommen von Schlacken in Einzelstücken, flächenhaften verbackenen Krusten oder in Form von Halden erkannt werden. Weiterhin liefern geruchliche Auffälligkeiten, Verfärbungen oder Ausblühungen Hinweise auf die Existenz von Schadstoffen (s. Tab. 3).

Es wird darauf hingewiesen, dass eine sensorische Ansprache von Geländebefunden nur mit äußerster Vorsicht bzw. im Zweifelsfall gar nicht durchgeführt werden sollte. Hinweise zum Arbeitsschutz auf Rüstungsaltlasten finden sich umfangreich in /1/.

---

Möglicher Schadstoff	sensorischer Befund	Vergleichsprodukt
<b>TNT</b>	<b>frisch:</b> gelbe, feinkörnige Substanz; <b>verwittert:</b> rot, feinkristallin, kreideartig, auch wachsartig, z.T. duktil und verformbar	mitunter bittermandelartiger Geruch
<b>Pulversprengstoffe</b>	körniges Material, Geruch	Feuerwerkskörper
<b>Nitrocellulosestäbchen</b>	Erscheinungsform	Düngestäbchen
<b>Hexachlorethan</b>	campherartiger Geruch	Bronchialsalben
<b>Andere CKW in hoher Konzentration</b>	Lösungsmittelgeruch	Flüssigklebstoff früher: Pinselreiniger
<b>BTEX</b>	aromatischer Geruch	Geruch nach "Tankstelle"
<b>Phenol</b>	intensiver Geruch	verschmorte Kabel
<b>Mineralöl</b>	Geruch Altöl: wie Mineralöl, jedoch mit fauliger Komponente	Heizöl, Diesel, Benzin Ölschmiere bei PKW-/LKW-Motoren
<b>Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)</b>	allgemein: Teergeruch spezifischer: Naphthalingeruch	Mottenkugeln
<b>Schwefel</b>	gelbe, rote, grüne, graue kreideartige Substanz kristalline Ausblühungen intensiver Geruch bei Schwefelwasserstoff	Streichhölzer faule Eier
<b>Phosphor</b>	weiße, rote wachsartige Masse intensiver Geruch von Phosphorwasserstoff in kleinsten Konzentrationen	Verwesungsgeruch, Fischgeruch
<b>Cyanide</b>	z. T. blaue, leicht durchsichtige Kristalle Geruch von Cyan-Wasserstoff	Bittermandel
<b>Arsen</b>	Geruch von Arsen-Wasserstoff und von bestimmten arsenhaltigen Kampfstoffen	Knoblauch
<b>Elementares Aluminium und Magnesium</b>	<b>frisch:</b> grausilberne- weiße Kristalle, Späne <b>verwittert:</b> altweiße, weißblaue bis graue kristalline bis amorphe Masse	bei Erhitzung: Funkenflug ähnlich wie bei Wunderkerzen
<b>Säuren</b>	Wachstumsanomalien bei Pflanzen	

**Tab. 3:** Hinweise auf Schadstoffe durch Geländebefunde (Beispiele)

### Literatur:

- /1/ RAPSCH, H.-J. & TIEDEMANN, M. (HRSG.) (1994): Schutzmaßnahmen bei der Gefährdungsabschätzung von Rüstungsallasten. - 304 S.; Erich Schmidt Verlag, Berlin

### **3.7 Beprobung von Boden, Bodenluft, Wasser und Bausubstanz**

Nach Abschluss der Recherchen sind wie bei sonstigen Altstandorten i.d.R. Beprobungen mit einem auf den Einzelfall abgestimmtem Untersuchungsprogramm erforderlich. Zur Vorbereitung der Probennahmen muss klar sein, welche Proben an welchen Stellen und in welcher Tiefe unter welchen Arbeitsschutzmaßnahmen zu entnehmen sind. Es ist meist zumindest eine Einbindung, ggf. auch eine permanente Begleitung durch den Kampfmittelräumdienst erforderlich. Im weiteren gelten für die Probenahme die gleichen Anforderungen wie bei der Untersuchung konventioneller Altlast-Verdachtsflächen (vgl. etwa /1/ - /4/).

#### **3.7.1 Bodenproben**

Bei der Untersuchung von Spreng- und Brandplätzen kommen generell die bekannten Aufschlussverfahren zur Anwendung, d. h. Rammkernsondierungen, Bohrungen, Handschachtungen und Baggerschürfe. Besteht Kampfmittelverdacht, ist im Vorfeld jeder Aufschlusspunkt vom KRD zu testen bzw. freizugeben. In diesem Zusammenhang wird nochmals darauf hingewiesen, dass Untersuchungsergebnisse durch geophysikalische Verfahren mehrdeutig sein können. Die Wahl des Aufschlussverfahrens richtet sich vor allem nach der zu erreichenden Erkundungstiefe, wobei häufig eine Kombination der genannten Verfahren sinnvoll ist. Über die Aufschlussdichte ist im Einzelfall nach Untersuchungsstadium und Zwischenergebnissen zu entscheiden.

Kleinformatige Aufschlüsse werden in der Regel mit Handschachtungen begonnen, wobei bei der Anlage von Schürfgruben die DIN 4124 ("Baugruben und Gräben, Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau" /5/) zu beachten ist. Diese Aufschlussform bietet einen räumlichen Einblick in den oberen Profilbereich. Aufschlusstiefen von 1-2 m sind in der Regel gut erreichbar. Oft sind in dieser Tiefe künstliche Auffüllungen schon durchteuft, so dass der KRD in solchen Fällen den tieferen Untergrund ohne Einfluss störender Auffüllböden untersuchen kann. Sind größere Aufschlusstiefen erforderlich, können in den Schürfgruben Rammkernsondierungen oder auch Bohrungen abgeteuft werden.

Für größere Tiefen oder bei oberflächennah anstehendem Festgestein, können Aufschlüsse ebenso wie bei sonstigen Untergrund-Untersuchungen durch Baggerschürfe (z.B. mittels Tieflöffelhydraulikbagger) erstellt werden. Zur Bearbeitung besonders ge-

---

fährlicher Bereiche steht personenunabhängiges Aufschlussgerät (gepanzerte, ferngesteuerte Geräte) zur Verfügung. Die DIN 4124 enthält gezielte Hinweise.

Da STV teilweise leicht- bis mittelflüchtige Substanzen sind (z.B. Nitrobenzole und Nitrotoluole), sollten die gewonnenen Bodenproben möglichst umgehend in luftdichte, braune Schraubgläser (evtl. Head-Space-Probenahme) gefüllt und gekühlt schnellstmöglich zur Analyse gebracht werden. Manche STV unterliegen photolytischer Zersetzung, so dass die Proben vor Lichteinfluss zu schützen sind. TNT-Konzentrationen im Feststoff von mehr als 10 Gew.% sowie TNT-Stücke von über 1 cm Kantenlänge gelten als explosibel und sind nur von entsprechend geschultem Fachpersonal zu handhaben /6/, /7/.

### 3.7.2 Beprobung der Bodenluft

Nach den bisherigen Erfahrungen ist eine Bodenluftuntersuchung bei Spreng- und Brandplätzen nicht nur bezüglich evtl. noch vorhandener chemischer Kampfstoffe oder sonstiger, leichtflüchtiger Schadstoffe, sondern auch im Hinblick auf eventuelle Spontanreaktionen von Reststoffen mit der Umgebung oder mit Licht besonders im Hinblick auf den Arbeitsschutz vorrangig.

Bestehen gerade bei nicht geräumten Standorten mit seit Jahren oder Jahrzehnten ungestörter Geländeoberfläche Zweifel am Stoffinventar oder an möglichen Spontanreaktionen (s.o.), so wird geraten, **vor** einer umfassenden Untersuchung oder gar einer Räumung ein intensives Untersuchungsprogramm der Bodenluft **im unverritzten Gelände** und **am Aushub** kleiner Probeschachtungen im Hinblick auf mögliche Gasentwicklungen an der Geländeoberfläche durchzuführen.

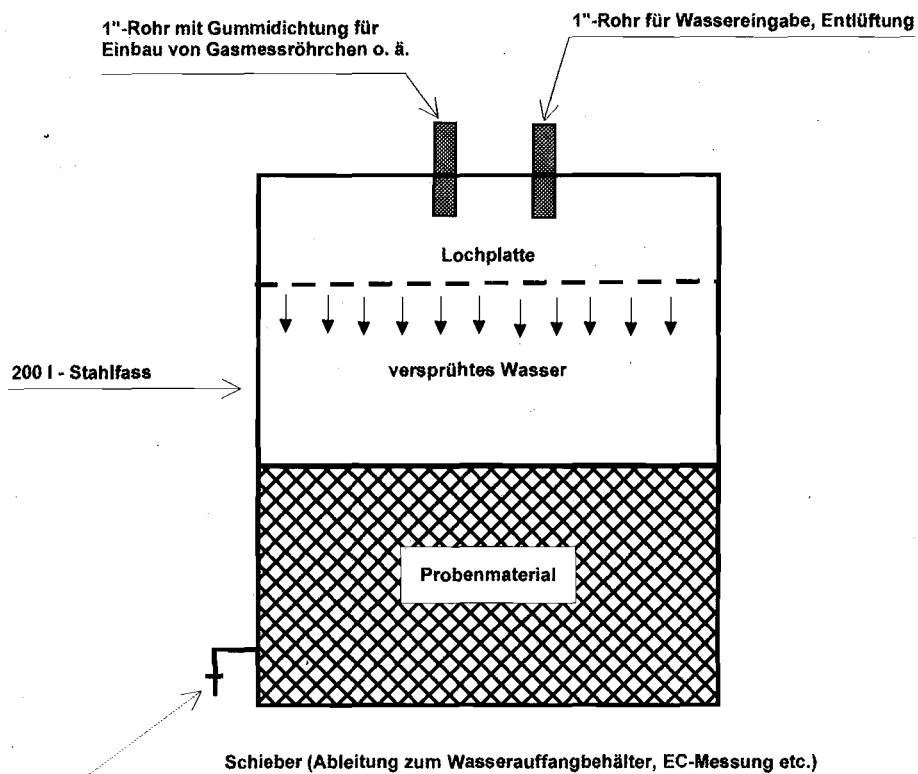
Die Entnahme von Bodenluftproben kann durch in den Boden einzudrückende oder einzuschlagende Entnahmelanzen (Vorsicht bei Kampfmittelverdacht!), in Sondierlöchern oder in zu Bodenluftmessstellen ausgebauten Sondierlöchern erfolgen. Rammkernsondierungen bieten dabei den Vorteil zusätzlich möglicher Bodenansprachen. In kritischen Fällen ist die Verwendung von Lanzen zu bevorzugen (kein kontaminierter Aushub). Für Wiederholungsmessungen sollten ausgebaute Messstellen eingerichtet werden. Nach Abschluss der Probenahme sind die temporären Entnahmestellen z.B. mit Quellton zu verschließen.

Für **Langzeitmessungen** zur Ermittlung eventueller Ausgasungen an die Erdoberfläche kann die Lemberger Box verwendet werden. Bei diesem Verfahren wird ein Kasten z.B. aus V2A-Stahl mit der Öffnung nach unten auf die zu untersuchende Oberfläche gestellt

---

und leicht in den Boden eingedrückt, so dass allseitig ein dichter Abschluss gewährleistet ist. Nach einer Verweilzeit von etwa vier bis acht Stunden wird die Gasphase im Inneren der Box beprobt. Aus den ermittelten Konzentrationen lässt sich abschätzen, ob vom Untergrund gasförmige Emissionen ausgehen, die die Umgebungsluft signifikant beeinflussen.

**Ausgasungstests** am Aushub von Probeschachtungen können im Labor aber auch Vor-Ort durchgeführt werden. Die Feldmethode hat den Vorteil, dass i.d.R. ein Vielfaches des im Labor vorhandenen Probevolumens zur Verfügung steht. Vom Autor wurden in der Vergangenheit bei der Bearbeitung von Altlasten mit reaktiven Abfällen wie z.B. Salz-/Alu-Schlacken oder bei Abfällen mit leichtflüchtigen Schadstoffen für Ausgasungstests Probenmengen von 50 kg bis 5 t verwendet. Als Versuchsbehälter kamen für Absaugversuche umgebaute Container und für Reaktivitätstests umgebaute 200 l-Stahlfässer zur Verwendung. Die folgende Abb. 1 zeigt eine Prinzipskizze der letztgenannten Versuchseinrichtung. Auch diese Tests sind als Langzeittests ausgelegt.



**Abb. 1:** Prinzipskizze einer Versuchseinrichtung für Langzeit-Ausgasungstests

### 3.7.3 Grund- und Oberflächenwasserproben

Die Entnahme von Wasserproben auf Spreng- und Brandplätzen unterscheidet sich i.d.R. nicht von der Vorgehensweise bei sonstigen Altlasten, so dass auch hier auf die einschlägige Literatur verwiesen wird. Wie bereits erwähnt, ist eine enge Abstimmung mit dem vorgesehenen Untersuchungslabor erforderlich. In Abhängigkeit der zu analysierenden Parameter sollten die erforderlichen Flaschensätze mit den ggf. zu verwendenden Stabilisatoren von der Untersuchungsstelle vorbereitet und zur Verfügung gestellt werden.

### 3.7.4 Beprobung der Bausubstanz

Beprobungen der Bausubstanz können vor allem in Sprengbunkern erforderlich werden. Sollen Materialien beprobt werden, die möglicherweise Sprengstoffanteile enthalten (z.B. Verkrustungen), werden zur Verhinderung von Funkenflug Kunststoffwerkzeuge (alternativ Messing) empfohlen. Es ist in solchen Fällen auch darauf zu achten, dass die evtl. bei der Probenahme erzeugte Reibungshitze nicht zu groß wird. Beprobungen der Bausubstanz von Bunkern sind allerdings aufgrund des meist auch heute noch erstklassigen Zustandes des Betons nur schwer mit leichtem Gerät durchzuführen und Funkenflug kaum zu verhindern. Zur Entnahme relativ oberflächennaher Proben können Handmeißel verwendet werden. Sollen größere Tiefen erreicht werden, sind Kernbohrungen zu empfehlen, bei denen eine Kühlung durch einen kleinen Wasserstrom erreicht wird.

Bei der Untersuchung von Baustoffproben im Labor ist die z.T. kostenintensive Probenvorbereitung (Sägen, Brechen, Mahlen etc.) zu berücksichtigen.

### Literatur

- /1/ LWA NRW (HRSG.) (1991): Probenahme bei Altlasten. - LWA Materialien 1/91; Düsseldorf
  - /2/ LWA NRW (HRSG.) (1995): Die verlust- und kontaminationsfreie Probenahme und -vorbereitung von Wässern und Feststoffen. - LWA Materialien Nr. 12; Essen
  - /3/ LÖLF (1988): Mindestuntersuchungsprogramm Kulturboden zur Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten im Hinblick auf eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung; Recklinghausen
  - /4/ LWA NRW (HRSG.) (1989): Leitfaden zur Grundwasseruntersuchung bei Altablagerungen und Altstandorten. - LWA Materialien 7/89; Düsseldorf
  - /5/ DIN 4124: Baugruben und Gräben Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau. - Normenausschuss Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., August 1981 (Gültig ab 1. Januar 1982)
-

- /6/ RAPSCH, H.-J & TIEDEMANN, M. (Hrsg.) (1994): Schutzmaßnahmen bei der Gefährdungsabschätzung von Rüstungsalftlasten. - 304 S.; Erich Schmidt Verlag, Berlin
- /7/ MARTINETZ, D. & RIPPEN, G.: Fachinformationen Rüstungsalftlasten. - In: RIPPEN, Handbuch Umweltchemikalien, II-2.6, Loseblattsammlung, Ecomed-Verlag, Landsberg

### 3.8 Vor-Ort-Analytik

Neben Laboruntersuchungen existieren eine Reihe von Untersuchungsmethoden, die für erste Erkenntnisse bzw. Übersichtsergebnisse im Gelände ausgelegt sind. Ein sinnvoller Vor-Ort-Test muss wenigen, dafür aber wichtigen Ansprüchen genügen. Er muss eine eindeutige und nützliche Information liefern und robust genug sein, um auch unter schwierigen Außenbedingungen zu funktionieren. Das Testverfahren sollte einfach durchführbar sein (ohne großen apparativen Aufwand), damit auch nicht speziell chemisch ausgebildetes Personal, notfalls im unwegsamen Gelände und bei schlechtem Wetter, zur gewünschten Aussage gelangen kann. Eine vergleichende Zusammenstellung von Schnellverfahren zur Untersuchung von Abfällen ist derzeit für das Land NRW in Vorbereitung /1/.

Eine umfangreiche Beschreibung der Schnell- und Screening-Verfahren, die für rüstungsalftlast-spezifische Stoffe sowohl im Wasser als auch im Feststoff vorliegen, sowie umfangreiche weitere Literaturhinweise gibt /2/. Dort werden genannt:

#### **Schnellmethoden zur Bestimmung rüstungsalftlast-relevanter Verbindungen im Wasser:**

- Chromatographische Verfahren
- Photometrische und kolorimetrische Verfahren
- Biologische Verfahren (Enzym-Immunoassays; "ELISA")
- Andere Verfahren.

#### **Als Schnellmethoden zur Bestimmung von Explosivstoffen und deren Metaboliten im Boden** sind dort beschrieben:

- Photometrische und kolorimetrische Verfahren
  - Elektrochemische Verfahren
  - Biologische Verfahren (Enzym-Immunoassays, "ELISA").
-



Vergleichende Ergebnisse zum Einsatz von Schnelltests für STV in Böden liefern auch /3/ und /4/.

Bei den eigenen Geländeuntersuchungen hat sich der kolorimetrische NaOH/Aceton-Test als anwendungssicher erwiesen. Der Einsatz von kostenträchtigeren und komplizierteren Schnellmethoden erscheint bei der derzeitigen Preislage für chemische Laboranalysen in NRW im Normalfall und zumindest bei Maßnahmen ohne Zeitdruck nicht sinnvoll.

Hingewiesen wird zusätzlich auf den Einsatz tragbarer Ionenmobilitätsspektrometer /5/, /6/ und von Spürröhrchen und Prüfplaketten /7/ vor allem zum **Arbeitsschutz** beim potenziellem Vorhandensein leichtflüchtiger Substanzen (ggf. auch chemischer Kampfstoffe).

### Literatur:

- /1/ KEHRBUSCH, P., KUBE, CHR. & VOGT, M. (in Vorb.): Methodenhandbuch: Schnellerkennungsmethoden zur Beurteilung von Abfällen. Teil 1: Deponie und chemisch-physikalische Behandlungsanlage. - Abschlussbericht zum Untersuchungsvorhaben im Auftrag des Landes NRW, LUA NRW, Essen
  - /2/ MARTINETZ, D. & RIPPEN, G.: Fachinformationen Rüstungsalftlasten. - In: RIPPEN, Handbuch Umweltchemikalien, II-2.6, Loseblattsammlung, Ecomed-Verlag, Landsberg
  - /3/ GOLDBACH, E. & NEUMANN, V. (1997): Vergleichende Untersuchungen von Verfahren zum Nachweis von Nitroaromaten und Nitraminen im Boden aus Rüstungsalftlasten unter Labor- und Feldbedingungen am Beispiel des Standortes MUNA Süptitz. - Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben des Landes Sachsen, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden
  - /4/ WOLLIN, K.-M. & LEVSEN, K. (1999): Schnelle Vor-Ort-Analytik zur Untersuchung von Rüstungsalftlasten. - UWSF - Z.Umweltchem.Ökotox., 11(6), 353-364, Ecomed-Verlag, Landsberg
  - /5/ KLEIN, W. ET AL. (1997): Einsatz der Ionenmobilitätsspektrometrie für den Arbeitsschutz bei der Beprobung und Sanierung von Rüstungsalftlasten. - Abschlussbericht zum Untersuchungsvorhaben im Auftrag des Landes NRW, unveröffentlicht
  - /6/ KUBE, CHR. & DOKTOR, A. (im Druck): Praxisleitfaden zum Einsatz der Ionenmobilitätsspektrometrie bei der Untersuchung von Rüstungsalftlasten. - Merkblätter des Landesumweltamtes NRW, Nr. 21; Essen
  - /7/ DRÄGER AG (1994). Dräger-Röhrchen Handbuch. Lübeck (Anmerkung: Spezialröhrchen z. B. zur Bestimmung chemischer Kampfstoffe sind in diesem Buch nicht aufgeführt. Es ist bei der Firma anzufragen)
  - /8/ THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (HRSG.) (1992): Verfahren zur Sanierung von Rüstungsalftlasten: Analytik, Sicherung und Verfahrenstechnik. - 377 S., EF-Verlag Berlin
-

### 3.9 Laboranalytische Verfahren

Derzeit bestehen im Bundesgebiet keine allgemeinen Vorschriften, die das analytische Arbeiten mit Sprengstoffen und chemischen Kampfstoffen regeln. Auch der Erwerb der zum analytischen Arbeiten benötigten Standards im Bereich der Sprengstoffe und deren Abbauprodukte ist nicht genehmigungspflichtig. Eine eventuell erforderliche **Analytik chemischer Kampfstoffe** ist aber **grundsätzlich von Speziallabors** durchzuführen. Eine ausführliche Beschreibung der speziell für solche Substanzen entwickelten Aufbereitungs- und Analyseverfahren enthält /1/.

Die erforderliche apparative Ausstattung zur Bestimmung von **STV** (Gaschromatographen mit unterschiedlichen Detektoren und HPLC mit variablem UV-Detektor sowie für spezielle Fragestellungen Atomabsorptions-, IR- und UV- Spektrometer) ist i.d.R. Standard. In jedem Fall sollte ein GC/MS-Gerät zur Absicherung von positiven Befunden vorhanden sein. Auf den Einsatz eines Qualitätssicherungs-Systems (z.B. gemäß LWA-Merkblatt Nr. 11, /2/) ist zu achten (s.a. /3/). Aufgrund der spezifischen Substanzen sollten die Analysen nur von Labors mit nachgewiesener Erfahrung auf diesem Spezialgebiet durchgeführt werden. Es wird noch einmal auf die Notwendigkeit einer engen Abstimmung zwischen den Geländearbeiten und der Untersuchungsstelle hingewiesen.

Genormte Methoden zur Bestimmung der relevanten Stoffe liegen zur Zeit noch nicht oder noch nicht endgültig vor. Für die Analytik von **sprengstofftypischen Verbindungen** im **Wasser** existieren derzeit folgende Normen bzw. Norm-Entwurfs-Manuskripte:

- DIN 38407-16 (Stand Juni 1999)  
Bestimmung von Anilin-Derivaten mittels Gaschromatographie (F 16)
- DIN 38407-17 (Stand Februar 1999)  
Bestimmung ausgewählter nitroaromatischer Verbindungen mittels Gaschromatographie (F 17)
- Manuskript für Entwurf DIN 38407-21 (Stand November 1999)  
Bestimmung ausgewählter Explosivstoffe und verwandter Verbindungen durch Hochleistungs-Flüssigchromatographie (HPLC) mit UV-Detektion.

Für die Bestimmung dieser Substanzen in **Feststoffen** gibt es zur Zeit keine genormten bzw. in der Normung befindliche Verfahren. Es existieren jedoch einige Verfahren, die zum Teil auf Länderebene akzeptiert sind und routinemäßig angewendet werden. So er-

---

arbeitet etwa das Land Hessen zur Zeit eine "Rahmenvorschrift" für die GC-Analytik von 10 STV in Böden. Für die STV ist insbesondere die in Anlehnung an die US-EPA Method 8330 durchgeführte Extraktion im Ultraschallbad mit Acetonitril und Bestimmung mit HPLC und DAD zu nennen /4/ und /5/.

Zur quantitativen Bestimmung der STV werden zwei sich ergänzende chromatographische Methoden angewandt. Dies sind zum einen die Gaschromatographie (GC) mit den am häufigsten verwendeten Detektoren Elektroneneinfangdetektor (ECD), Flammenionisationsdetektor (FID), Stickstoff/Phosphor-selektiver Detektor (NPD) und Massenselektiver Detektor (MSD), und zum anderen die Hochleistungs-Flüssig-Chromatographie (HPLC). Im Vergleich zur HPLC hat die GC die größere Trennleistung, d. h. es können mehr Verbindungen voneinander getrennt und nachgewiesen werden. Zudem ist eine niedrigere Nachweisgrenze erreichbar. Beim Einsatz des MSD ist durch die Aufnahme eines Massenspektrums zudem eine sichere Identifizierung der unbekanntes Verbindung gewährleistet. Mittels GC können nahezu alle STV voneinander getrennt werden. Ausnahmen bilden aber die thermisch labilen Substanzen Tetryl und Nitropenta, die nur mit der HPLC bestimmbar sind. Ebenso zeigt Hexogen Zersetzung bei Temperaturen oberhalb 180°C und wird daher ebenfalls besser mit der HPLC nachgewiesen.

Der große Vorteil der HPLC liegt eindeutig in der Auftrennung und Bestimmung der thermisch labilen STV, die mit der GC nicht erfassbar sind. Das Verfahren wird daher zunehmend häufig zur Analytik von STV eingesetzt. Obwohl die Trennleistung der HPLC deutlich geringer als die der GC ist, lassen sich mit ihr so gut wie alle relevanten STV als Hauptkomponenten trennen und mittels variabler UV-Detektion nachweisen. Für die Bestimmung von Spuren- und Nebenkomponenten bei gleichzeitiger Anwesenheit von Verbindungen in großem Überschuss reicht die Trennleistung der HPLC allerdings in der Regel nicht aus. Die niedrigere Nachweisgrenze im Vergleich zur GC kann man teilweise durch die höheren Aufgabemengen kompensieren. Zudem können Ergebnisse, die mit der GC erzielt wurden, mittels HPLC verifiziert werden.

### **XRD-Analysen**

Als Sonderuntersuchung wird an dieser Stelle die röntgendiffraktometrische Untersuchung genannt /6/. Diese Analysetechnik stammt aus dem Bereich der petrographischen Untersuchungen und kommt vor allem zur Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale zum Einsatz. Es handelt sich dabei um ein Zählrohr-Verfahren mit automatischer Zählung und rechnergestützter Auswertung. Im Normalfall wird eine Kupfer  $K\alpha$  -Strahlung verwen-

---

det. Die röntgenographische Identifizierung der Minerale beruht im Wesentlichen auf der Bestimmung ihres Basislinien-Abstandes und der Lage des 060-Reflexes. Die Basisreflexe werden an Pulverpräparaten bestimmt. Die Identifizierung der Minerale erfolgt heute per EDV. Die erforderlichen Geräte zur XRD-Analytik gehören nicht zur Standardausrüstung von chemischen Laboratorien, sind jedoch z.B. in den geowissenschaftlichen Instituten der Hochschulen vorhanden. Zur Lösung von Spezialfragen bei Altlastenuntersuchungen, auch speziell im Fall von Spreng- und Brandplätzen, kann der Einsatz des Verfahrens beispielsweise zur Detektion von elementarem Schwefel, Aluminium, Magnesium und von Salzen hilfreich sein.

### **Sonstige Verfahren**

Für sonstige Untersuchungsparameter sind, so weit möglich, Standardverfahren anzuwenden. Tab. 4 und 5 zeigen die im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen verwendeten Analyse-Verfahren und deren Nachweisgrenzen.

### **Literatur:**

- /1/ SCHOENE, K. ET AL. (1995): Analytik Kampfstoff-kontaminierter Rüstungsaltslasten. - Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 74; Erich-Schmidt Verlag, Berlin
  - /2/ LWA NRW (HRSG.) (1992): Analytische Qualitätssicherung (AQS) für die Wasseranalytik in Nordrhein-Westfalen. LWA Merkblätter, Nr. 11; Düsseldorf
  - /3/ LWA NRW (HRSG.) (1995): Anforderungen an Gutachter, Untersuchungsstellen und Gutachten bei der Altlastenbearbeitung. - Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 11; Essen
  - /4/ MARTINETZ, D. & RIPPEN, G.: Fachinformationen Rüstungsaltslasten. - In: RIPPEN, Handbuch Umweltchemikalien, II-2.6, Loseblattsammlung; Ecomed-Verlag, Landsberg
  - /5/ HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT (HRSG.) (1998): Abschlußbericht Methodenvergleich Rüstungsaltslasten; Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 251, Wiesbaden
  - /6/ MÜLLER, G. (1964): Methoden der Sediment-Untersuchung. Tübingen
  - /7/ THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (HRSG.) (1992): Verfahren zur Sanierung von Rüstungsaltslasten: Analytik, Sicherung und Verfahrenstechnik. - 377 S., EF-Verlag, Berlin
-

Parameter	Verfahren	Nachweisgrenze (mg/kg)
Antimon	DIN 38406-E19-3	1
AOX	DIN-EN (ISO) 1485 H-14	5
Arsen	Analog DIN 38406-E19-3	1
Blei	DIN 38406-E6-1	1
Cadmium	DIN 38406-E 19-3	0,1
Chrom <sub>ges</sub>	DIN 38406-E10-1	1
Cyanid <sub>ges</sub>	LAGA-Richtlinie CN 2/79	0,1
EOX	DIN 38414-S17	1
Kupfer	DIN 38406-E7-1	1
Kw <sub>ges</sub>	LAGA 1985	1
MKW	DIN 38409-H18	1
LHKW	Analog DIN 38407-F4/5	0,05
Nickel	Analog DIN 38406-E11	1
PAK (EPA)	Analog DIN 38407-F8	0,01 bis 0,1
Quecksilber	DIN 38406-E12-3	0,1
TOC	Analog DIN 38409-H3	1
Zink	DIN 38406-E8-1	1

**Tab. 4:** Zur Feststoffanalytik eingesetzte Verfahren und deren Nachweisgrenzen

Parameter	Verfahren	Nachweisgrenze (mg/l)
Ammonium	DIN 38406-E5-1	0,05
Antimon	DIN 38406-E19-3	0,05
Arsen	Analog DIN 38406-E19-3	0,01
Blei	DIN 38406-E6-1	0,01
BTEX	DIN 38407-F9	0,001
Cadmium	DIN 38406-E 19-3	0,002
Chrom <sub>ges.</sub>	DIN 38406-E10-1	0,005
Cyanid <sub>ges.</sub>	DIN 38405-D13	0,01
DOC	DIN 38409-H3	1
Kupfer	DIN 38406-E7-1	0,01
Kw <sub>ges.</sub>	LAGA 1985	0,1
MKW	DIN 38409-H18	0,1
el. Leitfähigkeit	DIN 38404-C8	
LHKW	Analog DIN 38407-F4/5	0,001-0,005
Nickel	Analog DIN 38406-E11-1	0,01
Nitrat	DIN 38405-D20	0,01
Nitrit	DIN 38405-D20	0,01
PAK (EPA)	Analog DIN 38407-F8	0,01-0,1
pH-Wert	DIN 38404-C5	
Quecksilber	DIN 38406-E12-3	0,001
Thallium	DIN 38406-E19-3	0,001
TOC	Analog DIN 38409-H3	1
Zink	DIN 38406-E8-1	0,05

Tab. 5: Zur Wasser-/ Eluatanalytik eingesetzte Verfahren und deren Nachweisgrenzen

### **3.10 Auswahl der Untersuchungsparameter und Erfahrungen aus den durchgeführten Standort-Untersuchungen**

Bei Zerlege- oder Delaborierbetrieben sowie auch bei Spreng- und Brandplätzen kann die Auswahl charakteristischer Stoffparameter erhebliche Schwierigkeiten bereiten, da meist unbekannt ist, mit welchen Substanzen bzw. Munitionstypen im Einzelnen umgegangen wurde. Da es erfahrungsgemäß keine einheitlichen Typen von Spreng- und Brandplätzen gibt und demzufolge die stofflichen Belastungen der Flächen sehr unterschiedlich sein können, lassen sich generelle Listen-Empfehlungen für die Analytik kaum aussprechen. Im Einzelfall ist daher i.d.R. der Untersuchungsaufwand solcher Flächen, d.h. vor allem die Dichte zu entnehmender Feststoffproben, höher als bei anderen Verdachtsflächen.

Als geeignete **Summenparameter**, die erste Hinweise auf vorhandene, nutzungstypische Belastungen geben können, sind lediglich die Bestimmung der Gesamt-Kohlenwasserstoffe (IR-KW) als Hinweise auf Brandmittelfüllungen und Vergussmassen sowie des EOX anzusehen. Bei unbekanntem Belastungen kann ansonsten ein Screening-Programm organischer Stoffe sinnvoll sein. Bei den Standortuntersuchungen wurde auch der Phenolindex mitbestimmt; die Interpretation ist aber schwierig, da der Parameter insgesamt im Hinblick auf die spezielle Problematik zu unspezifisch ist.

Beispielhaft sind in Tab. 6 und 7 die Parameter aufgelistet, die im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens auf Spreng- und Brandplätzen in NRW analysiert wurden. Darüber hinaus werden zur Untersuchung vier weitere Parameter (EGDN, DEGN, NG, NQ) empfohlen, die häufig als Bestandteile von Sprengstoffen, Pulvern und Treibmitteln auftreten. Verfahrensbedingt, sowie in Anbetracht der derzeitigen Preissituation für chemische Analysen in NRW, ist zumindest bei den Nitroaromaten und Nitroaminen eine Beschränkung auf ausgewählte Einzelparameter i.d.R. nicht sinnvoll.

Die Untersuchungsprogramme des Vorhabens erwiesen sich als geeignet, um einen repräsentativen Überblick über nutzungstypische Belastungen zu gewinnen. Im Einzelfall ist aber die Auswahl der Parameter grundsätzlich auf die jeweiligen Standort-Gegebenheiten abzustimmen.

Nitrobenzol	2,4,6-Trinitrotoluol	Hexogen
2-Nitrotoluol	2-Amino-4-nitrotoluol	Octogen
3-Nitrotoluol	4-Amino-2-nitrotoluol	Nitropenta
4-Nitrotoluol	4-Amino-3,5-dinitrotoluol	Pikrinsäure
2,3-Dinitrotoluol	2-Amino-4,6-dinitrotoluol	Hexyl
2,4-Dinitrotoluol	4-Amino-2,6-dinitrotoluol	Tetryl
2,6-Dinitrotoluol	1,5-Dinitronaphthalin	N,N-Diphenylharnstoff
3,4-Dinitrotoluol	1,8-Dinitronaphthalin	N,N-Diethyl-N,N-diphenyl-harnstoff
1,2-Dinitrobenzol	Diphenylamin	Ethylenglycoldinitrat (EGDN)
1,3-Dinitrobenzol	2-Nitrodiphenylamin	Diethylenglycoldinitrat (DEGN)
1,4-Dinitrobenzol	4-Nitrodiphenylamin	Nitroglycerin (TNG, NG)
1,3,5-Trinitrobenzol		Nitroguanidin (NQ)

**Tab. 6:** Zusammenstellung der im Untersuchungsvorhaben analysierten **Sprengstoffe** incl. **Begleit- und Abbauprodukte** sowie vier weitere, ggf. bedeutsame Bestandteile von Sprengstoffen, Pulvern und Treibmitteln.  
Zum Einsatz der STV vgl. auch Tab. 1. Die Harnstoffe dienen als Stabilisatoren.



Untersuchungen am Feststoff	Untersuchungen im Wasser / Eluat
sensorische Ansprache (Vor-Ort)	sensorische Ansprache (Vor-Ort)
pH-Wert	pH-Wert (Vor-Ort)
el. Leitfähigkeit	el. Leitfähigkeit (Vor-Ort)
	Sauerstoffgehalt (Vor-Ort)
	Temperatur (Vor-Ort)
MKW DIN 38409 Teil 18	
KW-Gesamtgehalt (LAGA 1985)	
EOX/AOX	
TOC/DOC	DOC
PCDD/F	
PAK (US EPA)	PAK (US EPA)
	CKW
	BTEX
Antimon	Antimon
Arsen	Arsen
Blei	Blei
Cadmium	Cadmium
Chrom	Chrom
Kupfer	Kupfer
Nickel	Nickel
Quecksilber	Quecksilber
Zink	Zink
CN <sub>ges</sub>	CN <sub>ges</sub>
Ammonium	Ammonium
Nitrat	Nitrat
Nitrit	Nitrit

**Tab. 7: Weitere** im Rahmen des Vorhabens untersuchte **Parameter**

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen auf den **Beispielstandorten und die Auswertungen der niedersächsischen Gutachten** zu dortigen Einzelstandorten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

### **Sprengstofftypische Verbindungen**

Von den untersuchten STV traten 2,4,6-TNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, die Metabolite 2-A-4,6-DNT und 4-A-2,6-DNT sowie Hexogen am häufigsten auf. Mehrfach wurden auch Nitropenta, Tetryl und Hexyl mit positivem Befund analysiert (vgl. auch Anhang). In Einzelfällen, zum Beispiel auf dem Standort Midlum-Kransburg, trat Nitrocellulose in relevanten Mengen auf. Dort wurden aber bereits NC-Röhrchen an der Gelände-Oberfläche gefunden. Auch Stabilisatoren lagen nur in Einzelfällen vor. Die Auswertungen zeigen weiterhin, dass Feststoff-Eluate erhebliche STV-Konzentrationen aufweisen können, auch wenn diese Stoffe in der Originalsubstanz nicht oder nur in geringen Mengen nachweisbar sind. Dies kann folgende Gründe haben:

- Inhomogenitäten in der Probe sind die Regel (gerade STV liegen häufig in Partikelform oder als Cluster- bzw. Nuggetbildungen vor).
- Bei der Bestimmung in der Originalsubstanz werden nur wenige Gramm Boden eingewogen.
- Bei der Eluatherstellung werden 100 g Boden eingewogen und 24 Stunden lang über Kopf geschüttelt. Dies bewirkt i.d.R. eine vollständige Zerstörung des Kornverbandes mit entsprechend gesteigerten Stoff-Löslichkeiten.
- Die Bestimmungsgrenze bei der Analytik in der Originalsubstanz beträgt 0,01 mg/kg.
- Die Bestimmungsgrenze bei der Untersuchung im Eluat beträgt dagegen 0,1 µg/l.

Das Elutionsvermögen von STV im DEV S4 Eluat kann zudem bei Anwesenheit von Lösungsvermittlern wie MKW oder BTEX auf ein Vielfaches der Wasserlöslichkeit ansteigen. Im Einzelfall wurden bis zu 900 mg/l TNT im Eluat gemessen bei einer reinen Wasserlöslichkeit von 140 mg/l (25 °C).

### **Elemente und sonstige Parameter**

Bei der Feststoffanalytik ist - wie beschrieben - vor allem bei den zu untersuchenden Elementen auf die jeweiligen Hintergrundkonzentrationen zu achten. Durch die starken regional-geologischen Unterschiede sind auch geogen bedingte Metallgehalte bis in den Grammbereich möglich. Feststoffanalysen können dann im Zweifelsfall falsch interpretiert

---

werden. Gleiches gilt für Untersuchungen auf Calcium, Eisen, Mangan, Bor, Barium, Strontium etc.. Die drei letztgenannten Elemente treten bevorzugt im marinen Bildungsmilieu auf. Auch können Phosphor- und Schwefel-Gehalte geogen bedingt sein (z. B. Pyrit). Im Einzelfall sollten daher bei entsprechenden Auffälligkeiten Referenzproben aus unbelasteten Nachbargebieten des Standortes vergleichend untersucht werden. Angaben zu Hintergrundwerten können den Erläuterungen der geologischen Karten sowie entsprechender sonstiger Fach-Literatur entnommen werden (z.B. /2/,/3/). Zur Ermittlung eventueller munitionsbedingter Aluminium-, Magnesium-, Schwefel- oder Phosphorbelastungen in Böden können im Einzelfall röntgendiffraktometrische Analysen sinnvoll sein.

Das Spektrum der analysierten Schwermetalle/Metalloide (vgl. Tab. 7) hat sich bei den bisherigen Untersuchungen bewährt. Die entsprechenden Untersuchungen blieben allerdings in der Regel unauffällig.

Bei AOX- sowie TOC/DOC-Analysen können natürliche biologische Prozesse (z.B. Algen- oder Moosbildung in anmoorigen bzw. allgemein in Stauwasserbereichen) die Ergebnisse beeinflussen. So wies bei den Untersuchungen des Sprengplatzes Rüthener Ebene die Referenzprobe den höchsten AOX-Gehalt auf. Vergleichsuntersuchungen auf den EOX-Gehalt blieben dagegen unauffällig. Es wird empfohlen, im Feststoff im allgemeinen auf AOX-Untersuchungen zu verzichten. Die EOX-Bestimmung ist - abgesehen von leichtflüchtigen halogenierten Stoffen und PCDD/F - für Hinweise auf das Vorhandensein entsprechender organischer Belastungen vorzuziehen. Aufgrund der möglichen biologischen Beeinflussung erscheint ebenfalls eine Untersuchung auf TOC und DOC als Leitparameter nur bedingt geeignet. Eine solche Analyse kann aber sinnvoll sein, wenn bei überwiegend anorganischen Belastungen Anteile an organischen Begleitsubstanzen nicht eindeutig identifizierbar sind. In solchen Fällen können die TOC/DOC-Untersuchungen zur Abschätzung des organischen Anteils dienen.

PAK-, Phenol- und MKW-Verunreinigungen sind nur im Einzelfall als relevante Parameter anzusehen. Deren Untersuchung kann sich an sensorischen Befunden orientieren. Auch bei Cyaniden wurden nur im Einzelfall signifikante Belastungen gefunden. Als Beispiel seien die entsprechend belasteten Schlämme des Standortes Greven angeführt. Ebenso traten beim Standort „ehemaliger Fliegerhorst Kirchhellen“ signifikante Cyanid-Verunreinigungen auf. Über die Herkunft kann dort nur spekuliert werden. Eventuell wurden auf den Standorten neben Brandprozessen auch wassereinsatzende Techniken ver-

wendet, so dass sich in den Schlämmen Cyanide aus den Brandprozessen anreichern konnten.

Die Untersuchung auf Stickstoffträger kann durch Düngung oder sonstige stickstoffhaltige Substanzen beeinflusst werden. Es wird empfohlen, diese Parameter nur auszuwählen, falls die Standortgegebenheiten dies im Einzelfall begründen (z.B. ehemaliger Fliegerhorst Kirchhellen). Gleiches gilt für die Bestimmung des Phenolindex (s.o.).

### **Literatur:**

- /1/ VOIGT, H. J. (1990): Hydrogeochemie. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
  - /2/ UMWELTBUNDESAMT (HRSG.) (1991): Schwermetalle in Böden der Bundesrepublik Deutschland - geogene und anthropogene Anteile - UBA Texte 13/91, 142 S.; Berlin
  - /3/ LWA (HRSG.) (1991): Erfassung und Auswertung der Hintergrundgehalte ausgewählter Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens. - Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 4, Düsseldorf
  - /4/ MARTINETZ, D. & RIPPEN, G.: Fachinformationen Rüstungsaltslasten. - In: RIPPEN, Handbuch Umweltchemikalien, II-2.6, Loseblattsammlung; Ecomed-Verlag, Landsberg
  - /5/ HAAS, R. & STORK, G. (1989): Konzept zur Untersuchung von Rüstungsaltslasten. - Fresenius Z. Anal. Chem. 335, S. 839-845; Frankfurt
-

## 4 Bewertungshilfen

Dem Entscheidungsdruck der Einzelfallbearbeitung folgend, wurden Eingreif-, Handlungs- und Sanierungszielwerte für rüstungsspezifische Kontaminationen zunächst speziell auf die jeweiligen Nutzungs- und Standortgegebenheiten bezogen festgelegt (z.B. für Stadtallendorf und Hessisch Lichtenau (Hessen) oder Leverkusen Schlebusch (NRW)). Diese lassen sich jedoch nicht unbedingt zur Bewertung von Ergebnissen anderer Standorte heranziehen.

Allgemeingültige Kriterien zur toxikologischen (Summen-)Bewertung von STV sind in /1/ beschrieben. Dort finden sich auch Zusammenstellungen von Besorgnis- und Prüfwerten für STV in Böden (Tab. 8) sowie toxikologisch gestützte Richtwerte für Trinkwasser (Tab. 9).

Im Rahmen eines Untersuchungsvorhabens werden derzeit im Auftrag des Umweltbundesamtes weitere Prüfwerte für ausgewählte rüstungsspezifische Schadstoffe abgeleitet. Zur Prüfwertfestlegung im Einzelfall wird auf die Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchV) /2/ verwiesen. Die Ableitungsmethodik solcher Prüfwerte ist in /3/ beschrieben. Hintergrundwerte für stoffliche Gehalte in Böden enthält /4/.

### Literatur:

- /1/ WOLLIN, K.-M., HÖRING, H. & DIETER, H.-H. (1996): Kriterien zur toxikologischen (Summen-)Bewertung sprengstofftypischer Verbindungen (STV) aus Rüstungsaltslasten. In: Martinetz, D. & Rippen, G.: Fachinformationen Rüstungsaltslasten. Handbuch Umweltchemikalien, II-2.6, Kap. 8.3, Loseblattsammlung; Ecomed-Verlag, Landsberg
  - /2/ Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999
  - /3/ Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 18. Juni 1999. - Bundesanzeiger, ausgegeben am 28. August 1999, Nr. 161a.
  - /4/ LABO (1998): Hintergrundwerte für organische und anorganische Stoffe in Böden - Entwurf. - 2. überarbeitete und erg. Aufl.
-

Parameter	TDI ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{d}$ )	B-Wert ( $\text{mg}/\text{kg}$ )		P-Wert ( $\text{mg}/\text{kg}$ )
		100 % TDI	40 % TDI	400 % TDI
<b>Nitropenta</b>	1.650	$165\cdot 10^3$	$66\cdot 10^3$	$(660\cdot 10^3)^*$
<b>Nitrobenzol</b>	0,5	50	20	200
<b>1-3-DNB</b>	0,014	1,5	0,6	6
<b>4-Nitroanilin</b>	0,3	30	12	120
<b>2,4-6-TNT</b>	0,05	5	2	20
<b>2,4-DNT</b>	0,2	20	8	80
<b>Hexogen</b>	0,3	30	12	120

\*)Rechnerisch ermittelt; unerheblich, da nahe dem Eigengewicht der Bodenmatrix

**Tab. 8:** Besorgnis - und Prüfwerte für STV in Böden nach WOLLIN et al. //

Stoff	Richtwerte für Trinkwasser (µg/l)	
	toxikolog. RW <sup>1)</sup>	Vorsorge <sup>2)</sup>
PETN	1000	0,1
2-NT	-	0,1
2-NA	3	0,1
2,4-DAT	-	0,1
NB	3	0,1
3-NT	1	0,1
1,3-DNB	0,1	0,1
4-NT	1	0,1
4-NA	3	0,1
2,4,6-TNT	1	0,1
2,4-DNT	3	0,1
Hexogen	3	0,1
2,6-DNT	-	0,1
2,6-DAT	1	0,1
2-A-4-NT	-	0,1
Tetryl	-	0,1
2,3-DNT	-	0,1
4-A-2,6-DNT	-	0,1
2-A-4,6-DNT	-	0,1
2,6-DA-4-NT	-	0,1
<b>Summe STV</b>	<b>10</b>	<b>0,5</b>

<sup>1)</sup> Toxikologisch gestützte (nicht begründete) Einzelstoff-Richtwerte unter gleichzeitiger Summenbegrenzung (Vorschlag)

<sup>2)</sup> Vorsorge-Richtwert unter Bezug auf die Trinkwasser-Verordnung

**Tab. 9:** Trinkwasserrichtwerte für STV nach DIETER (s. WOLLIN et al. /1/)





## 5 Zusammenfassende Empfehlungen

Zur Bearbeitung von Spreng- und Brandplätzen können zunächst grundsätzlich die für die Untersuchung konventioneller Altlasten/Verdachtsflächen empfohlenen Vorgehensweisen und Arbeitshilfen herangezogen werden. Besonderheiten, die sich aus den bisherigen Erfahrungen ergeben und die im vorstehenden Text beschrieben sind, werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

Die Aufgabe von Spreng- und Delaboriereinrichtungen muss nicht unbedingt mit einer völligen Entmunitionierung der Flächen einhergegangen sein, d. h. es können durchaus noch intakte Munition bzw. Munitionsteile an der Geländeoberfläche und/oder im Untergrund vorhanden sein. Auf (nicht vollständig geräumten) Spreng- und Brandplätzen ist somit zunächst generell von einer **latenten Detonationsgefahr** auszugehen. Maßnahmen zur Sicherheit und zum Arbeitsschutz sind daher besonders wichtig (s.u.).

Vor Beginn der Geländearbeiten ist eine **sorgfältige historische Recherche** erforderlich, für die nach derzeitigem Kenntnisstand vor allem folgende Informationsquellen als ergiebig anzusehen sind:

- Tagebücher und Pläne der zuständigen Kampfmittelräumdienste und/oder Vertragsfirmen,
  - Zeitliche Fortführungen der Topographischen Karten, insbesondere der DGK 5. Die Blätter beinhalten im Einzelfall Eintragungen von Sprengtrichtern, Grabensystemen, Teichen etc.,
  - Luftbilder (unterschiedliche Quellen und Befliegungszeiträume),
  - Unterlagen der zuständigen Unteren Wasser- und Abfallbehörden, z. B. bezüglich älterer Untersuchungen, Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten, Wasserentnahmen etc.,
  - Unterlagen der zuständigen Forstämter,
  - Archive (Bundesarchiv, Militärarchive, Staatsarchive, kommunale Archive, Archive der alliierten Streitkräfte),
  - Heimatkundliche Abteilungen in Stadtbibliotheken,
  - Zeitzeugen.
-

Bei der Recherche ist so weit wie möglich die Lage der (ehemaligen) Betriebseinrichtungen zu ermitteln. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass gerade bei Sortierstellen, Entwässerungsanlagen und Feuerlöschteichen signifikante Belastungen auftreten können. Weiterhin wichtig sind Angaben über den Betriebszeitraum der Anlage sowie eine Zusammenstellung der am Standort abgelagerten bzw. vernichteten Munitionstypen, einschließlich einer Beschreibung ihrer Werk- und Wirkstoffe.

Diese Zusammenstellungen bilden die Grundlage zur Abschätzung potenzieller Gefahrenherde und zur Planung **angepasster Schutz- und Gefahrenabwehrmaßnahmen**. Auf die Regelungen der ZH 1/183 „Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen“ sowie der Gefahrstoffverordnung und die einschlägige Literatur (vgl. Kap. 3.6 und 3.7) wird verwiesen. Die wichtigsten Vorschriften für die Aufstellung eines Arbeits- und Emissionsschutzplanes sind in den einschlägigen Gesetzen und Verordnungen sowie in den berufsgenossenschaftlichen Regelwerken zu finden. Es hat sich bewährt, die zu erarbeitenden Konzepte z.B. mit der Berufsgenossenschaft oder dem Amt für Arbeitssicherheit abzustimmen.

Bei nicht oder nicht komplett geräumten Standorten sollten zumindest in Zweifelsfällen vor Beginn größerer Geländemaßnahmen **Voruntersuchungen** durchgeführt werden. Diese können z.B. in Probegrabungen bestehen, die vom zuständigen Kampfmittelräumdienst zu begleiten und nach Möglichkeit von einer von ihm empfohlenen Vertragsfirma durchzuführen sind.

Teilweise hat auf den betreffenden Arealen eine so genannte 'Entschrottung' stattgefunden. Dabei wurden die Brand- und Sprengplätze auf Freiflächen sowie deren Umfeld weitläufig umgegraben, so dass die ursprünglichen Untergrundverhältnisse erheblich gestört sein können. Des Weiteren kann „Fremdmaterial“, z.B. Fund- und Beutemunition oder anderweitig zugeliefertes Material, in Sprengtrichter oder andere Hohlformen eingebaut worden sein. Unter Umständen wurden solche Plätze schon vor Jahrzehnten aufgegeben und als Ackerfläche, Erholungsgebiet o.ä. weitergenutzt. Manchmal sind im Gelände noch Sprengtrichter oder Grabensysteme erkennbar, die nicht bzw. nicht vollständig verfüllt sind. Im Hinblick auf zielgerichtete Untersuchungen ist somit auch damit zu rechnen, dass durch sekundäre Tätigkeiten Untergrundverunreinigungen „verwischt“ wurden und die betreffenden Stoffe in der Originalsubstanz nur noch in Spuren zu finden sind.

---

Sollten Verdachtsmomente auf **Gasentwicklungen** bestehen, können die Probegrabungen zu Bodenluftmessstellen ausgebaut werden und zur Untersuchung eventueller Ausgasungen in die Außenluft der Einsatz von Lemberger Boxen sinnvoll sein. Vor Ort können zunächst direkt anzeigende Methoden wie die Gasspürröhrchen oder Langzeitplaketten (z.B. zu verwenden in Lemberger Boxen) mit einer Messzeit von bis zu 8 Stunden zum Einsatz kommen. Das von verschiedenen Firmen angebotene Spektrum ist als gut zu bezeichnen. Da sich bei Einsatz dieser Röhrchen Querempfindlichkeiten nicht ausschließen lassen, kann bei positivem Befund nicht zwangsläufig die betreffende Substanz als nachgewiesen gelten. Ein solcher Befund begründet jedoch entsprechende Sicherheitsmaßnahmen sowie Detailuntersuchungen im Labor.

Falls ohne Gefährdung machbar, ist eine detaillierte **sensorische Ansprache** des Bodenmaterials wichtig. Diese sollte eventuelle Gerüche sowie optisch erkennbare Auffälligkeiten jeder Art beschreiben. Im Zweifelsfall können erste Reaktivitätstest und Schlämungen sinnvoll sein. Die chemische Analyse ausgewählter Einzelproben bzw. einzelner Parameter kann die weitere Planung zielgerichtet unterstützen.

Es kann keine allgemeingültige "Liste" zu analysierender Parameter angegeben werden, da das Untersuchungsprogramm standortbezogen erstellt werden muss. Als **Anhaltspunkt** zur Ermittlung einer potenziellen Belastung können aber die in den **Tab. 6 und 7 genannten Parameter** dienen. Zumindest bei den Nitroaromaten und Nitroaminen ist verfahrensbedingt sowie in Anbetracht der derzeitigen Preissituation für chemische Analysen eine Beschränkung auf ausgewählte Einzelparameter i.d.R. nicht zweckmäßig.

Als **Schnellmethode** zur Untersuchung von **STV in Böden** hat sich bei den Geländeuntersuchungen der kolorimetrische NaOH/Aceton-Test als anwendungssicher erwiesen. Der Einsatz von kostenträchtigeren und komplizierteren Schnellmethoden erscheint bei der derzeitigen Preislage für chemische Laboranalysen in NRW im Normalfall und zumindest bei Maßnahmen ohne Zeitdruck nicht sinnvoll.

Sprengstofftypische Verbindungen sollten **auch im DEV-S4 Eluat** untersucht werden, da selbst bei nicht nachweisbaren oder geringen Feststoffkonzentrationen z.T. deutliche Befunde im Eluat möglich sind. Bei Anwesenheit von Lösungsvermittlern kann zudem die Löslichkeit von STV auf ein Vielfaches der Wasserlöslichkeit ansteigen.

In den ausgewerteten Untersuchungen traten von den STV 2,4,6-TNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, die Metabolite 2-A-4,6-DNT und 4-A-2,6-DNT sowie Hexogen am häufigsten auf. Weiterhin wurden auch Nitropenta, Tetryl und Hexyl festgestellt. In Einzelfällen enthielten die Proben Nitrocellulose und Stabilisatoren. Spezielle Hinweise zur **Untersuchung und Bewertung** rüstungsspezifischer Stoffe enthält Kap. 3. Von den übrigen untersuchten Parametern wurden ebenfalls nur im Einzelfall erhöhte Konzentrationen an PAK, Phenolen, MKW und Cyaniden ermittelt.

## Anhang

### Statistische Betrachtungen

Wie im Text ausführlich dargestellt, ist auf Spreng- und Brandplätzen i.d.R. nur an bestimmten Stellen wie z.B. an ehemaligen Feuerlösch-Teichen, bei Sortierstellen oder in Bunkererden mit signifikanten Kontaminationen zu rechnen. Dies soll nachfolgend anhand der in NRW durchgeführten Untersuchungen mittels einfacher, deskriptiv-statistischer Kennzahlen ausgewählter Parameter belegt werden.

Insgesamt sind die untersuchten Probenserien gering belastet, wobei jedoch „Ausreißer“ (einzelne Proben mit erheblichen Schadstoffkonzentrationen) auftreten. Bei statistischen Betrachtungen verfälschen diese Ausreißer die Kennzahlen. Aus diesem Grunde und wegen der ohnehin anzunehmenden, inhomogenen Schadstoffverteilung in Feststoffen, werden keine weiterführenden statistischen Berechnungen durchgeführt, sondern lediglich folgende, einfache Kennzahlen verwendet:

- Probenzahl
- maximaler Befund
- Median (mittlerer Wert)
- Modalwert (der am häufigsten vorkommende Wert)
- Mittelwert (arithmetisches Mittel)
- Klassenbildungen

Das arithmetische Mittel dient dabei lediglich als Hinweis für die Beeinflussung der Probenserien durch Ausreißer.

Zur Klassenbildung wurde eine dekadische Einteilung verwendet.

---

### Organische Sprengstoffe, Vor - und Abbauprodukte

In Tab. A1 sind die Auszählungsergebnisse für die Analysen der **Feststoffe** aufgeführt und in Abb. A1 für die häufigsten Substanzen grafisch dargestellt.

Wie aus Tab. A1 hervorgeht, waren von den insgesamt 24 untersuchten Parametern acht ohne positiven Befund. Am häufigsten nachgewiesen wurden Hexogen, 2,4,6-TNT, 2,4-DNT, 4-A-2,6-DNT, 2-A-4,6-DNT und 2,6-DNT, jedoch auch nur in ca. 10 - 25 % der untersuchten Proben. Dies verdeutlichen auch der Median, der Modalwert und der Mittelwert. Die meisten Ergebnisse mit positivem Befund befinden sich in der Klasse bis 1 mg/kg (s. auch Abb. A1). Die beiden anderen Klassen sind nur selten belegt.

Betrachtet man die Auswertung der **Eluatuntersuchungen** (DEV S4-Eluat), die in Tab. A2 zusammen- und in Abb. A2 zeichnerisch dargestellt sind, so zeigt sich zunächst, dass 11 der analysierten Substanzen in keiner Probe auftraten.

Auch bei Eluatuntersuchungen sind 2,4,6-TNT, 2-A-4,6-DNT, 2,4-DNT, Hexogen und 4-A-2,6-DNT sowie zusätzlich Tetryl die häufiger nachweisbaren Parameter, wobei ca. 20 bis 33 % der untersuchten Proben einen positiven Befund lieferten. Auch hier ist die Klasse 1 (> n.n. bis 10 µg/l) am stärksten belegt. Die Werte zeigen jedoch, dass Einzelproben durchaus auch stark erhöhte Stoffkonzentrationen aufweisen. Der Median und der Modalwert der Eluatuntersuchungen zeigen das gleiche Bild wie bei den Feststoffuntersuchungen, die Mittelwerte die Beeinflussung durch die beschriebenen Ausreißer.

### Nitronaphthaline und Stabilisatoren

Wie aus Tab. A3 ersichtlich, traten **Nitronaphthaline** in ca. 10 - 17 % der Feststoffproben im unteren mg-Bereich auf. Im Eluat hingegen zeigte nur eine Probe einen positiven Befund (Tab. A4), der allerdings mit 198 µg/l als deutlich zu bezeichnen ist. Bei dieser Probe handelt es sich um Material aus einer Sortierstelle.

Bei den **Stabilisatoren** ist DPA (Diphenylamin) eindeutig als die am häufigsten auftretende Komponente zu bezeichnen. 18 Feststoff-Proben (ca. 25 %) enthielten nachweisbare DPA-Gehalte (s. Tab. A3). Von diesen belegen 17 die Klasse 1 (von > n.n. bis 1 mg/kg), die 18. Probe liegt mit 1,2 mg/kg nur unwesentlich über der Klassengrenze.

Im Eluat konnte nur 2-N-DPA in zwei Proben (ca. 18 % aller untersuchten Proben) mit maximal 48,9 µg/l nachgewiesen werden.

---

### Sonstige organische Parameter

Die Ergebnisse der übrigen organischen Parameter sind in Tab. A5 und Tab. A6 dargestellt. Der TOC-, DOC-, KW-Gesamt- und der AOX-Gehalt werden nicht in die weitere Betrachtung einbezogen, da bei diesen Parametern erhöhte Gehalte auch natürliche Ursachen haben können.

Proben mit positivem Befund an **MKW, PAK und EOX** sind prozentual deutlich häufiger als bei den bisher betrachteten Substanzen (ca. 30 bis über 90 % der untersuchten Proben).

Alle **MKW**-Gehalte liegen unterhalb von 1000 mg/kg. Bei **PAK** erreichen 40 von 57 Proben mit positivem Befund maximal 1 mg/kg, weitere 15 Proben liegen im Intervall von > 1 bis 10 mg/kg, während zwei Proben einen Gehalt von 10 mg/kg überschreiten.

Der **EOX-Gehalt** liegt bei allen 11 Proben mit einem nachweisbaren Befund unterhalb von 10 mg/kg.

Die Medianwerte aller hier betrachteten Parameter erreichen nicht Obergrenzen der Klasse 1, die Mittelwerte nicht die Obergrenzen der Klasse 2.

Die Ergebnisse der **Eluatuntersuchungen** sind als unauffällig zu bezeichnen.

### Anorganische Substanzen

In Tab. A7 und Tab. A8 sind die Ergebnisse der Untersuchungen auf die anorganischen Substanzen Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink und Cyanide zusammengestellt.

Die Auswertung zeigt, dass die **Feststoff**-Gehalte an Metallen/Metalloiden der meisten Proben in den unteren Klassen angesiedelt sind. Ausreißer mit kräftigen Gehalten wurden nur bei Blei, Cadmium, Kupfer und Zink in auf die Gesamtzahl bezogen vergleichsweise wenigen Proben festgestellt. **Cyanide** sind, abgesehen von Einzelbefunden, als unproblematisch anzusehen. 20 von insgesamt 24 Proben mit positivem Befund enthielten Konzentrationen von weniger als 1 mg/kg.

---

Auch bei den **Eluatuntersuchungen** der Elemente wurden nur wenige positive Befunde erzielt. Am häufigsten (9 von 15 Proben) traten nachweisbare Gehalte an Zink auf.

Von den **Stickstoffträgern** konnte nur Nitrat häufiger nachgewiesen werden (< 50 % der Proben), wobei die meisten Konzentrationen zwischen 10 und 100 mg/l lagen.

Die Ergebnisse der analysierten **Wasserproben** sind in den Tabellen A9 bis A12 zusammengestellt. Bei den Proben handelt es sich um Grundwasser, Dränwasser und Stauwasser.

Von den organischen Sprengstoffen und deren Vor- und Abbauprodukten (Tab. A9) sind Hexogen (7 von 14 Proben = 50 %), 4-A-2,6-DNT (12 von 28 Proben = 43 %), 2-4-6-TNT (11 von 28 Proben = 39 %) und 2,4-DNT (4 von 28 Proben = 14 %) am häufigsten nachweisbar. 15 von 23 analysierten Substanzen traten in keiner Probe auf.

Die Maximalgehalte überschreiten fast durchweg deutlich, im Einzelfall auch erheblich, die von DIETER (1994) vorgeschlagenen Richtwerte für Trinkwasser (vgl. Tab. 9 im Textteil).

**Nitronaphthaline** und **Stabilisatoren** (Tab. 10) traten nicht auf. Ebenso waren die Befunde für **leichtflüchtige Substanzen** wie BTEX und LCKW unauffällig (Tab. A11).

**MKW** wurden nur in 3 von 15 Proben mit maximal 0,33 mg/l nachgewiesen (Tab. A12).

**PAK** waren in 50 % der Proben nachweisbar. Wie aus Tab. A12 hervorgeht, können diese Gehalte auch signifikante Größenordnungen erreichen (Maximalwert: 0,069 mg/l).

Von den **anorganischen Stoffen** (Tab. A13) traten Blei und Chrom in jeweils nur einer Probe auf. Wie aus Tab. A13 weiter zu entnehmen ist, waren Zink, Nickel, Cadmium und Kupfer in 30 bis 95 % der untersuchten Proben nachweisbar und damit die häufigsten Metalle im Wasser. Dabei wurden bei Kupfer und Zink auch signifikante Gehalte erreicht.

---



**Tab. A1:** Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte  
im **Feststoff**, statistische Kennzahlen

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-1 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >1-10 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 3 >10 mg/kg (Probenzahl)
Nitrobenzol	109	0	-	-	-	-
1,2-DNB	109	0	-	-	-	-
1,3-DNB	109	2	0,13	2	0	0
1,4-DNB	109	0	-	-	-	-
1,3,5-TNB	109	1	0,27	1	0	0
2-NT	109	1	0,18	1	0	0
3-NT	109	2	0,087	2	0	0
4-NT	109	3	0,046	3	0	0
2,3-DNT	109	0	-	-	-	-
2,4-DNT	138	11	2,8	9	2	0
2,6-DNT	138	8	0,22	8	0	0
3,4-DNT	138	0	-	-	-	-
2,4,6-TNT	138	19	65,315	14	1	4
2-A-4-NT	109	3	0,082	3	0	0
4-A-2NT	109	3	2,3	2	1	0
2-A-4,6-DNT	138	8	1,9	6	2	0
4-A-2,6-DNT	138	9	1,1	7	2	0
4-A-3,5-DNT	109	0	-	-	-	-
Hexogen	93	25	97	22	2	1
Octogen	54	2	4,4	1	1	0
Tetryl	54	1	2,6	0	1	0
Nitropenta	54	1	5,2	0	1	-
Hexyl	19	0	-	-	-	-
Pikrinsäure	19	0	-	-	-	-

Fortsetzung Tab. A1: Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im **Feststoff**, statistische Kennzahlen

Parameter	Median (mg/kg)	Modalwert (mg/kg)	Mittelwert (mg/kg)
2,4-DNT	< NWG	< NWG	0,05
2,6-DNT	< NWG	< NWG	0,006
2,4,6-TNT	< NWG	< NWG	1,3
2-A-4,6-DNT	< NWG	< NWG	0,04
4-A-2,6-DNT	< NWG	< NWG	0,03
Hexogen	< NWG	< NWG	1,24

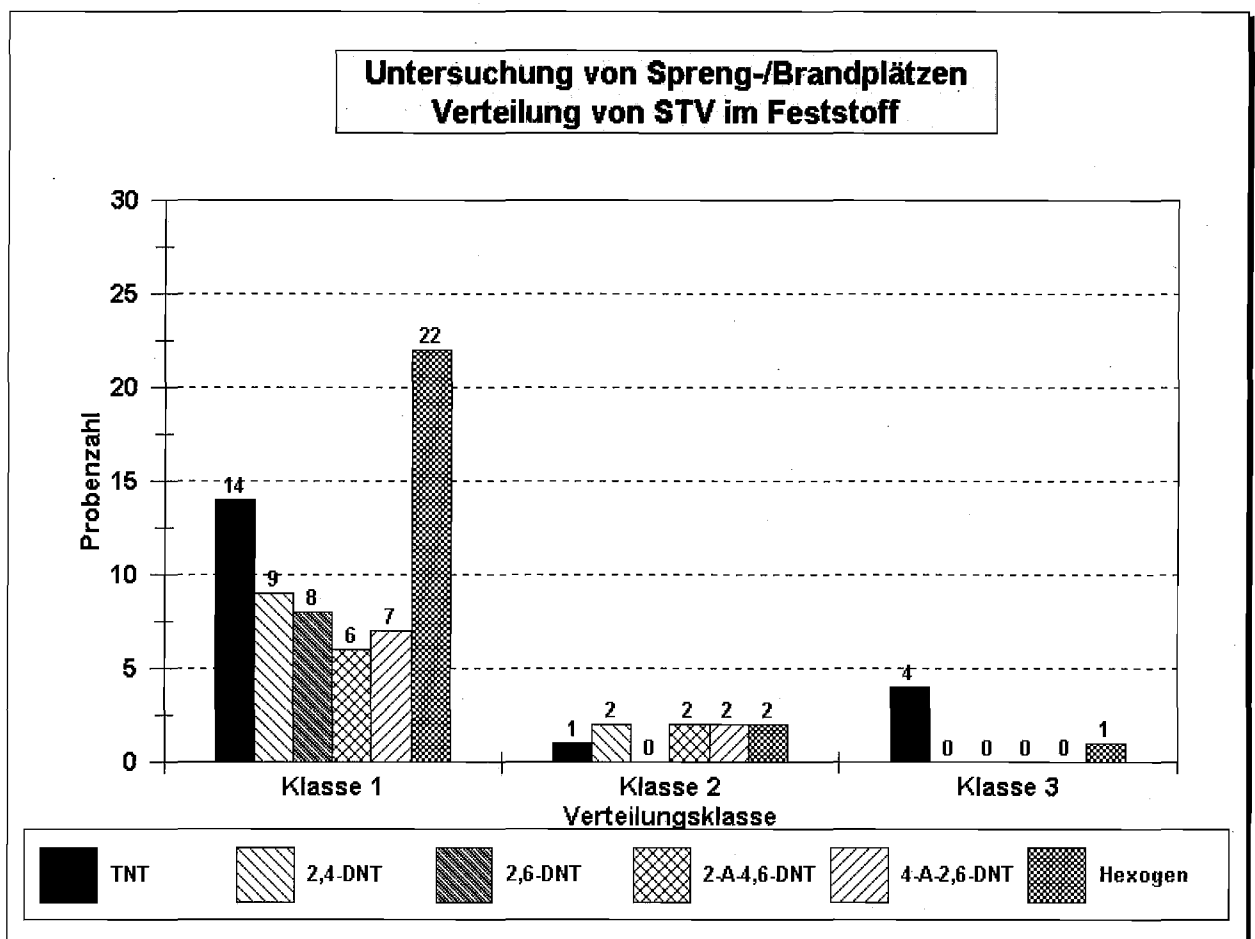


Abb. A1: Verteilungsmuster ausgewählter Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im **Feststoff**

**Tab. A2:** Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im **Eluat**, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (µg/l)	Klasse 1 >n.n.-10 µg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >10-100 µg/l (Probenzahl)	Klasse 3 >100-1000 µg/l (Probenzahl)	Klasse 4 >1000 µg/l (Probenzahl)
Nitrobenzol	20	3	0,32	3	0	0	0
1,2-DNB	20	0	-	-	-	-	-
1,3-DNB	20	1	0,18	1	0	0	0
1,4-DNB	20	0	-	-	-	-	-
1,3,5-TNB	20	1	0,87	1	-	-	-
2-NT	20	0	-	-	-	-	-
3-NT	20	0	-	-	-	-	-
4-NT	20	0	-	-	-	-	-
2,3-DNT	20	1	3,4	1	0	0	0
2,4-DNT	28	6	5,7	6	0	0	0
2,6-DNT	28	2	0,16	2	0	0	0
3,4-DNT	28	0	-	-	-	-	-
2,4,6-TNT	28	9	19987	4	2	0	3
2-A-4-NT	20	0	-	-	-	-	-
4-A-2NT	20	0	-	-	-	-	-
2-A-4,6-DNT	28	8	394	6	1	1	0
4-A-2,6-DNT	28	3	24	2	1	0	0
4-A-3,5-DNT	20	0	-	-	-	-	-
Hexogen	27	5	3000	3	1	0	1
Octogen	15	2	21,5	1	1	0	0
Tetryl	15	3	475	2	0	1	0
Nitropenta	15	1	2,4	1	0	0	0
Hexyl	15	0	-	-	-	-	-
Pikrinsäure	15	0	-	-	-	-	-

Fortsetzung Tab. A2: Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im **Eluat**, statistische Kennzahlen

Parameter	Median (µg/l)	Modalwert (µg/l)	Mittelwert (µg/l)
2,4-DNT	< NWG	< NWG	0,27
2,6-DNT	< NWG	< NWG	0,009
2,4,6-TNT	< NWG	< NWG	944,3
2-A-4,6-DNT	< NWG	< NWG	15,23
4-A-2,6-DNT	< NWG	< NWG	1,23
Hexogen	< NWG	< NWG	112

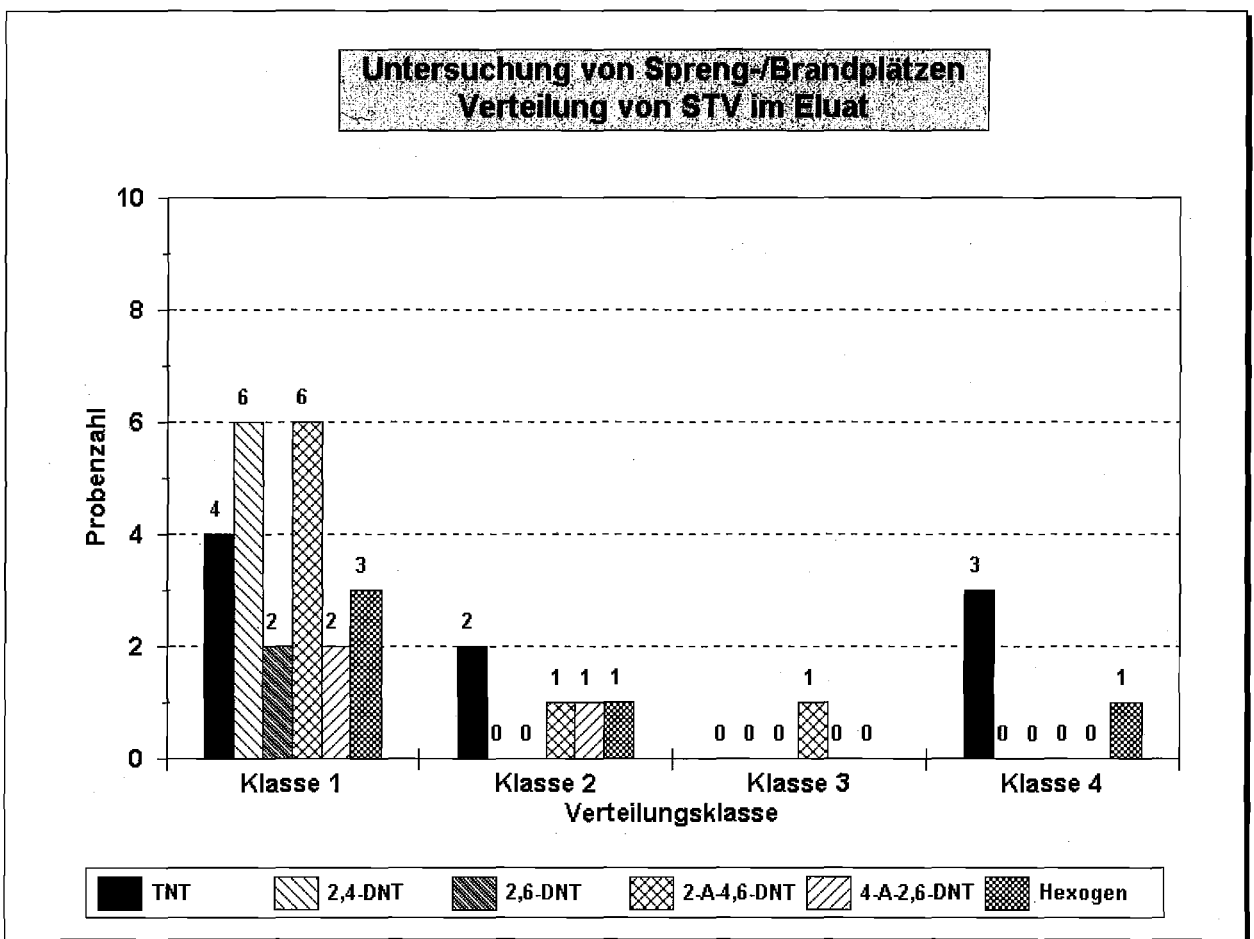


Abb. A2: Verteilungsmuster ausgewählter Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im **Eluat**

**Tab. A3:** Verteilungsmuster von Nitronaphthalinen und Stabilisatoren im **Feststoff**, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-1 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >1 mg/kg (Probenzahl)
1,5-Nitronaphthalin	18	2	2,37	1	1
1,8-Nitronaphthalin	18	3	1,161	2	1
DPA	70	18	1,2	17	1
2-N-DPA	70	4	0,326	4	0
4-N-DPA	70	0	-	-	-
NN-Diphenylharnstoff	70	0	-	-	-
NN-Diethyl-NN-diphenylharnstoff	70	0	-	-	-

**Tab. A4:** Verteilungsmuster von Nitronaphthalinen und Stabilisatoren im **Eluat**, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (µg/l)	Klasse 1 >n.n.-10 µg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >10-100 µg/l (Probenzahl)	Klasse 3 >100 µg/l (Probenzahl)
1,5-N-Naphthalin	11	1	198	0	0	1
1,8-N-Naphthalin	11	0	-	0	0	0
DPA	11	0	-	-	-	-
2-N-DPA	11	2	48,9	1	1	-
4-N-DPA	11	0	-	-	-	-
NN-Diphenylharnstoff	11	0	-	-	-	-
NN-Diethyl-NN-diphenylharnstoff	11	0	-	-	-	-

**Tab. A5:** Verteilungsmuster sonstiger organischer Stoffe im **Feststoff**,  
statistische Kennzahlen

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-100 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >100-1000 mg/kg (Probenzahl)
<b>MKW</b>	38	35	228	33	2

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-1 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >1-10 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 3 >10 mg/kg (Probenzahl)
<b>PAK (EPA)</b>	76	57	40,29	40	15	2

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-1 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >1-10 mg/kg (Probenzahl)
<b>EOX</b>	22	11	6,1	3	8

Parameter	Median (mg/kg)	Modalwert (mg/kg)	Mittelwert (mg/kg)
<b>MKW</b>	4,9	<NWG	18,7
<b>PAK (EPA)</b>	0,24	< NWG	1,5
<b>EOX</b>	0,15	< NWG	1,03

**Tab. A6:** Verteilungsmuster sonstiger organischer Stoffe im **Eluat**, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,001 mg/l (Probenzahl)
PAK (EPA)	13	4	0,00017	4

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,01 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,01-0,1 mg/l (Probenzahl)
Phenol-index	41	13	0,08	1	12

**Tab. A7:** Verteilungsmuster anorganischer Stoffe im **Feststoff**, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-10 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >10-100 mg/kg (Probenzahl)
Arsen	58	58	43,5	40	18

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-100 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >100-1000 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 4 >1000 mg/kg (Probenzahl)
Blei	87	86	29000	68	14	4

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-1 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >1-10 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 3 >10 mg/kg (Probenzahl)
Cadmium	87	74	110	56	17	1

Fortsetzung Tab. A7: Verteilungsmuster anorganischer Stoffe im Feststoff,  
statistische Kennzahlen

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-10 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >10-100 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 3 >100 mg/kg (Probenzahl)
Chrom	58	58	505,5	12	44	2

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-10 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >10-100 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 3 >100-1000 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 4 >1000 mg/kg (Probenzahl)
Kupfer	87	86	19150	14	52	15	5

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-10 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >10-100 mg/kg (Probenzahl)
Nickel	87	87	95	21	66

Parameter	Proben- Zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-1 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >1-10 mg/kg (Probenzahl)
Quecksilber	58	40	2,1	37	3

Parameter	Proben- Zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-100 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >100-1000 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 3 >1000 mg/kg (Probenzahl)
Zink	87	87	15000	37	40	10

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/kg)	Klasse 1 >n.n.-1 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 2 >1-10 mg/kg (Probenzahl)	Klasse 3 >10 mg/kg (Probenzahl)
CN <sub>ges</sub>	43	24	95,4	20	2	2



Tab. A8: Verteilungsmuster anorganischer Stoffe im **Eluat**, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,01 mg/l (Probenzahl)
Arsen	7	2	0,00081	2

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,01 mg/l (Probenzahl)
Blei	15	1	0,01	1

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,001 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,001-0,01 mg/l (Probenzahl)
Cadmium	15	3	0,01	1	2

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,01 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,01-0,1 mg/l (Probenzahl)
Chrom	7	1	0,057	0	1

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,01 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,01-0,1 mg/l (Probenzahl)
Kupfer	15	2	0,026	1	1

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,01 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,01-0,1 mg/l (Probenzahl)	Klasse 3 >0,1 mg/l (Probenzahl)
Nickel	15	4	0,36	1	1	2

**Fortsetzung Tab. A8: Verteilungsmuster anorganischer Stoffe im Eluat, statistische Kennzahlen**

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,1 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,1-1 mg/l (Probenzahl)
Zink	15	9	2,1	2	7

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-10 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >10-100 mg/l (Probenzahl)
Nitrat	45	25	34,4	9	16

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,1 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,1-1 mg/l (Probenzahl)
Nitrit	45	1	0,21	0	1

**Tab. A9:** Verteilungsmuster organischer Sprengstoffe, Vor- und Abbauprodukte im Wasser, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (µg/l)	Klasse 1 >n.n.-10 µg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >10-100 µg/l (Probenzahl)	Klasse 3 >100-1000 µg/l (Probenzahl)
Nitrobenzol	24	0	-	-	-	-
1,2-DNB	24	0	-	-	-	-
1,3-DNB	24	1	0,72	1	0	0
1,4-DNB	24	0	-	-	-	-
1,3,5-TNB	24	0	-	-	-	-
2-NT	24	0	-	-	-	-
3-NT	24	0	-	-	-	-
4-NT	24	0	-	-	-	-
2,3-DNT	24	0	-	-	-	-
2,4-DNT	28	4	0,75	4	0	0
2,6-DNT	28	1	0,21	1	0	0
3,4-DNT	28	0	-	-	-	-
2,4,6-TNT	28	11	480	7	3	1
2-A-4-NT	24	1	0,12	1	0	0
4-A-2-NT	24	1	0,15	1	0	0
4-A-2,6-DNT	28	12	19	10	2	0
4-A-3,5-DNT	24	0	-	0	0	
Hexogen	14	7	10	6	1	0
Octogen	6	0	-	-	-	-
Tetryl	6	0	-	-	-	-
Nitropenta	6	0	-	-	-	-
Hexyl	6	0	-	-	-	-
Pikrinsäure	6	0	-	-	-	-

**Tab. A10:**Verteilungsmuster von Nitronaphthalinen und Stabilisatoren im **Wasser**,  
statistische Kennzahlen

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG
1,5-Nitro- naphthalin	6	0
1,8-Nitro- naphthalin	6	0
DPA	6	0
2-N-DPA	6	0
4-N-DPA	6	0
NN-Diphenyl- Harnstoff	6	0
NN-Diethyl- NN-diphenyl- harnstoff	6	0

**Tab. A11:**Verteilungsmuster von leichtflüchtigen Substanzen im **Wasser**,  
statistische Kennzahlen

Parameter	Proben- zahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (µg/l)	Klasse 1 >n.n.-10 µg/l (Probenzahl)
Σ BTEX	9	2	7,1	2
Σ LCKW	9	0	-	-

**Tab. A12:** Verteilungsmuster sonstiger organischer Parameter im **Wasser**, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,1 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,1-1,0 mg/l (Probenzahl)
<b>MKW</b>	15	3	0,33	0	3

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,001 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,001 mg/l (Probenzahl)
<b>PAK</b>	16	8	0,069	6	2

**Tab. A13:** Verteilungsmuster anorganischer Stoffe im **Wasser**, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,01 mg/l (Probenzahl)
<b>Arsen</b>	16	3	0,0091	3

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,14 mg/l (Probenzahl)
<b>Blei</b>	20	1	0,03	1

Fortsetzung Tab. A13: Verteilungsmuster anorganischer Stoffe im Wasser, statistische Kennzahlen

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,1 mg/l (Probenzahl)
Cadmium	20	8	0,0024	8

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,1 mg/l (Probenzahl)
Chrom	16	1	0,01	1

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,1 mg/l (Probenzahl)	Klasse 2 >0,1 mg/l (Probenzahl)
Kupfer	20	6	0,33	5	1

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-0,1 mg/l (Probenzahl)
Nickel	20	9	0,075	9

Parameter	Probenzahl	Probenzahl mit Befund > NWG	Maximum (mg/l)	Klasse 1 >n.n.-1,0 mg/l (Probenzahl)
Zink	20	19	0,81	19

Die Sachgebiete „Altlasten“ und „Bodenschutz“ umfassen zu einem gewissen Anteil artverwandte Themen und Fragestellungen. Es bietet sich daher an, Publikationen des Landes Nordrhein-Westfalen zu diesen Themenkreisen zukünftig in einer gemeinsamen Schriftenreihe herauszugeben. Die eingeführte Reihe „Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten“ (MESA) wurde daher für Beiträge zum Bodenschutz geöffnet und gleichzeitig in „**Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz**“ (MALBO) umbenannt.

In der Reihe werden

- **Schlußberichte über Untersuchungsvorhaben**, die im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen zu Altlastenfragen und zum Bodenschutz durchgeführt worden sind, sowie
- **ausgewählte Ergebnisse sonstiger wissenschaftlicher Arbeiten** und Beratungen zu diesen Themenfeldern veröffentlicht, um sie der praktischen Anwendung, der fachlichen Diskussion und der interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Bisher sind erschienen in der Reihe „**Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten**“ (MESA):

- Band 1** Untersuchungen über ein Konzept zur Ermittlung von Grundwassergefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte
- Band 2** Anwendbarkeit von Richt- und Grenzwerten aus Regelwerken anderer Anwendungsbereiche bei der Untersuchung und sachkundigen Beurteilung von Altablagerungen und Altstandorten
- Band 3** Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten in Nordrhein-Westfalen (Schwerpunkt 1930 – 1950)
- Band 4** Erfassung und Auswertung der Hintergrundgehalte ausgewählter Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens
- Band 5** Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten in Nordrhein-Westfalen (Schwerpunkt 1900 – 1930)
- Band 6** Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern von belasteten Böden und Deponien: Entwicklung eines aussagefähigen Elutionsverfahrens
- Band 7** Beurteilung von PCB und PAK in Kulturböden
- Band 8** Feststoffuntersuchungsprogramme für Altstandorte der Metallbearbeitung
- Band 9** Hinweise für die einzelfallbezogene Erfassung von Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten
- Band 10** Feldversuche zur mikrobiologischen Sanierung eines PAK-belasteten Bodens (ehemaliger Gaswerksstandort) in Solingen-Ohligs
- Band 11** Anforderungen an Gutachter, Untersuchungsstellen und Gutachten bei der Altlastenbearbeitung
- Band 12** Konversion militärischer Liegenschaften: Altlasten / Bodenbelastungen. Lösungsansätze aus der Praxis
- Band 13** Lysimeterversuche zum Verhalten persistenter organischer Schadstoffe im System Boden/Pflanze

in der Reihe „**Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz**“ (MALBO):

- Band 1** Erhebungen über Altlast-Verdachtsflächen auf militärischen Liegenschaften
- Band 2** Mobilität anorganischer Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens
- Band 3** Auswertung der Erfahrungen aus durchgeführten Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten

- Band 4** Gefäßversuche zum mikrobiellen Abbau von PAK  
(polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen) in belasteten Böden
- Band 5** Leistungsbuch Altlastensanierung und Flächenentwicklung 1997/1998  
Arbeitshilfe zur Kostenermittlung bei der Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung  
von Altlasten und der Entwicklung kontaminierter Brachflächen
- Band 6** Versuche mit PAK-belasteten Böden in 4 Großlysometern zur Beurteilung der Grundwasser-  
gefährdung sowie Vergleich mit Elutionsmethoden
- Band 7** Nutzungstypische Kontaminationen auf militärischen Liegenschaften in Nordrhein-Westfalen
- Band 8** Mobilisierung von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminierten  
Umweltmaterialien in einem physiologienahen standardisierten „*in vitro*“ – Verdauungssystem
- Band 9** Arbeitshilfe zur Entwicklung von Rückbaukonzepten im Zuge des Flächenrecyclings
- Band 10** Die Untersuchung von Spreng- und Brandplätzen  
– Erfahrungen und Handlungsempfehlungen aus Nordrhein-Westfalen –