

# 06.18

Lizenziert für Herrn Dr. Tobias Bausinger, Envilytix GmbH Wiesbaden.  
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

27. Jahrgang  
Dezember 2018  
Seiten 209 – 248

# altlasten spektrum

Herausgegeben vom  
Ingenieurtechnischen Verband für Altlastenmanagement  
und Flächenrecycling e.V. (ITVA)

[www.ALTLASTENDigital.de](http://www.ALTLASTENDigital.de)

Mit dieser Ausgabe erhalten Sie das Jahresinhaltsverzeichnis 2018



Organ des ITVA

**Umweltrelevanz pulverty-  
pischer Verbindungen auf  
Rüstungsalstandorten**

T. Bausinger, A. Schwendner

**Transportverhalten von nitro-  
aromatischen Verbindungen  
im Grundwasser – Bestim-  
mung am Standort des  
ehemaligen Werksgeländes  
der WASAGCHEMIE Sythen  
GmbH**

F. Jänig

**Quellen zur Rekonstruktion  
und Untersuchung von Rüs-  
tungsallasten – Nutzung  
ehemaliger UBA-Texte**

J. Thieme

**ESV** ERICH  
SCHMIDT  
VERLAG



# Umweltrelevanz pulvertypischer Verbindungen auf Rüstungsaltsstandorten

Tobias Bausinger, Alexander Schwendner

## 1. Einleitung

Explosivstoffe können definitionsgemäß in die vier Hauptgruppen Sprengstoffe, Initialsprengstoffe, Treibladungspulver (TLP) und Pyrotechnische Sätze unterteilt werden. Unter Sprengstoffen versteht man hierbei Explosivstoffe, die sich detonativ umsetzen und eine zertrümmernde Wirkung entfalten, z.B. TNT oder Hexogen. Demgegenüber sind Treibladungspulver Explosivstoffe, die sich durch Deflagration umsetzen und eine schiebende Wirkung entfalten, z.B. Schwarz- oder Nitrocellulosepulver [1]. Mengenmäßig kommt innerhalb der vier genannten Hauptgruppen den Sprengstoffen und Treibladungspulvern die mit Abstand größte Bedeutung zu. So wurden in Deutschland im Ersten Weltkrieg 425.668 t Sprengstoffe und 362.577 t Treibladungspulver produziert, bei letzteren entfielen 13.371 t auf Schwarzpulver, der Rest auf nitrocellulosebasierte Pulver [2]. Im Zweiten Weltkrieg wurden in Deutschland 977.492 t Sprengstoffe und 974.188 t Treibladungspulver hergestellt, hierbei entfielen bei letzteren 10.408 t auf Schwarzpulver, der Rest auf nitrocellulosebasierte Pulver [3].

Umweltbelastungen durch Sprengstoffe bzw. sprengstofftypische Verbindungen (STV) wurden in den letzten Jahrzehnten an vielen Standorten in Deutschland aufwändig erkundet und teilweise gesichert bzw. saniert. Belastungen durch Treibladungspulver bzw. pulvertypische Verbindungen (PTV) traten demgegenüber kaum in den Fokus der Betrachtung, obwohl wie dargestellt vergleichbare Mengen produziert wurden.

PTV können hierbei definiert werden als Inhaltsstoffe von TLP und deren Abbauprodukte in der Umwelt. Während von TLP ein Brand- oder Explosionsrisiko ausgehen kann und sie die Quelle für die Emmission von PTV in die Umwelt darstellen, gehen die eigentlichen umweltbezogenen Risiken von den PTV selbst aus. Somit kann eine Belastung durch TLP nicht losgelöst von einer Belastung durch PTV betrachtet werden oder anders ausgedrückt ist neben dem kampfmitteltechnischen Problem der TLP auch immer das bodenschutzrechtliche Problem der PTV in Gänze zu berücksichtigen.

Belastungen durch TLP bzw. PTV sind auf Produktionsstandorten für TLP (Pulverwerke) und TLP-Zusatzstoffe (Produktionen für Stabilisatoren, Gelatinatoren etc.) sowie Standorten der Kampfmittelaborierung (z.B. Munas), -delaborierung und -vernichtung zu erwarten. Innerhalb der Gruppe der Standorte für Kampfmittelvernichtung kommt Sprengplätzen eine besondere Bedeutung zu. Hier sind TLP- und PTV-Belastungen zu erwarten, wenn neben sprengstoffgefüllten Granaten auch treibmittelgefüllte Kartuschen durch Sprengen vernichtet oder lose TLP durch Abbrand beseitigt wurden. Hierdurch kam es regelmäßig zu einem Eintrag von TLP und aus diesen zu einer Freisetzung von PTV in die Umwelt. Grundsätzlich ist auf allen Standorttypen mit TLP-Belastung davon auszugehen, dass diese sowohl als mikroskopische, als auch makroskopische Partikel vorliegen.

Die Autoren beschäftigen sich seit 2009 mit den Themen TLP und PTV. Sie haben systematisch Analysemethoden für die Bestimmung von PTV in Boden-, Wasser- und TLP-Proben entwickelt, Archivrecherchen zu produzierten TLP- und PTV-Mengen sowie zur Technologie von TLP im Ersten und Zweiten Weltkrieg und zur Relevanz dieser Verbindungen auf ausgewählten Rüstungsaltsstandorten durchgeführt. Diese Ergebnisse sollen nun vorgestellt werden.

## 2. Pulvertypische Verbindungen

### 2.1 Verwendete Substanzen

Umweltrelevanz kommt innerhalb der Gruppe der TLP insbesondere den ja auch mengenmäßig klar dominierenden Pulvern auf Basis von Nitrocellulose (NC) zu. Diese bestehen im Wesentlichen aus zwei Hauptgruppen von Inhaltsstoffen, den energetischen Komponenten und den inerten Zusatzstoffen.

Technisch werden drei Haupttypen von NC-basierten TLP unterschieden, die ein-, zwei- und dreibasigen Pulver. Hierbei versteht man unter einbasigen TLP solche, die nur eine energetische Komponente (NC) enthalten. Zweibasige TLP werden aus zwei energetischen Komponenten produziert (NC und ein Sprengöl, z.B. Nitroglycerin oder Diethylenglykoldinitrat). Dreibasige TLP

## Umweltrelevanz pulvertypischer Verbindungen auf Rüstungsaltsstandorten



Abbildung 1: Blättchenpulver, Röhrenpulver, Mehrlochpulver (von oben nach unten)

enthalten drei energetische Komponenten (NC, ein Sprengöl und Nitroguanidin).

Weiterhin wurden im Zweiten Weltkrieg in Deutschland verschiedene Spezialpulver in kleineren Mengen produziert. Hierzu zählen u. a. Nitropentapulver mit den energetischen Komponenten NC und Nitropenta, Gießlingpulver mit den energetischen Komponenten NC und TNT sowie verschiedene Kampfstoffpulver bestehend aus NC und Reizkampfstoffen der Blau- und Weißringgruppe. Kampfstoffpulver zählen jedoch nicht zu den TLP, da sie eine andere Zweckbestimmung haben.

Da NC unter Abspaltung von Stickoxiden einer autokatalytischen Zersetzung unterliegt, die bis zur Selbstentzündung führen und so schwerste Unfälle hervorrufen kann, müssen nitrocellulosehaltige Pulver mit Stabilisatoren versetzt werden. Diese reagieren mit den freiwerdenden Stickoxiden, indem sie selbst typischerweise nitrosiert bzw. nitriert werden. Dadurch werden diese reaktiven Zersetzungsprodukte der NC abgefangen und die Pulver lagerfähig gemacht. Wichtige Pulverstabilisatoren aus dem Zeitraum 1914–45 sind verschiedene Harnstoffderivate und Diphenylamin.

Aus verarbeitungstechnischen Gründen ist es erforderlich, dass NC bei der Produktion der TLP temporär in einen plastischen und damit formbaren Zustand überführt wird. Dies kann durch Zusatz von Lösemitteln wie Diethylether geschehen. Jedoch müssen diese Lösemittel vor Auslieferung der Pulver wieder zeitaufwändig entfernt werden. Restmengen können auch noch im Fertigprodukt enthalten sein und daraus langsam verdampfen, was zu einer Änderung der ballistischen Eigenschaften des TLP führt. Daher ging man bereits im Ersten Weltkrieg dazu über, Pulver ohne (flüchtige) Lösemittel zu erzeugen (POL-Pulver). Die Plastizität der Pulver kann bei mehrbasigen Pulvern durch die Sprengöle gewährleistet werden. Zudem können spezielle Gelatinatoren zugesetzt werden. Im Zweiten Weltkrieg setzte man in Deutschland hierzu in großem Umfang Urethane sowie untergeordnet auch Phtalate ein. Auch einige Pulverstabilisatoren verfügen über gelatinierende Eigenschaften. Einbasige TLP wurden jedoch stets unter Verwendung flüchtiger Lösemittel produziert.

In der Zwischenkriegszeit war man bemüht, die alten zweibasigen TLP auf Basis von NC und Nitroglycerin (Ngl) durch calorienärmere Pulver auf Basis eines anderen Sprengöls zu ersetzen, da hohe Caloriengehalte der TLP gleichbedeutend waren mit hohem Rohrverschleiß der Geschütze, was sich insbesondere bei Flak-Geschützen sehr störend bemerkbar machte. Zudem wurde für die Herstellung von Ngl Glycerin benötigt, das im Ersten Weltkrieg überwiegend aus Fetten hergestellt wurde, was zu einer Verknappung dieser wichtigen Ernährungsgrundlage führte. Aufgrund dieser Überlegungen ging man in der Zwischenkriegszeit mehr und mehr dazu über, zweibasige TLP aus NC und Diethylenglykoldinitrat (DEGN) zu produzie-

ren. Zudem entwickelte man Pulvermischungen, die bis zu 12 % Centralite oder Urethane enthielten. Dies war weit mehr, als für die Stabilisierung und Gelatinierung der TLP erforderlich gewesen wäre, d. h. in diesen Pulvern erfüllten die Centralite bzw. Urethane nicht nur stabilisierende und gelatinierende Funktionen, sondern dienten auch als reine Caloriensenker („Kaltmacher“). Da diese Zusatzstoffe jedoch nicht in beliebigen Mengen hergestellt werden konnten, lag es nahe, die rein caloriensenkende Funktion anderen geeigneten Ersatzstoffen zu übertragen. Diese fand man im Mononitronaphthalin und Dinitrotoluol, was die Verwendung dieser Substanzen in TLP erklärt.

Neben den genannten Pulverinhaltsstoffen kommen weitere in Betracht, wie z.B. Graphit als Beschichtungsmittel der TLP, verschiedene anorganische Salze als Verarbeitungshilfsmittel und Mündungsfeuerdämpfer.

## 2.2 Umweltrelevanz dieser Verbindungen

Die Umweltrelevanz der PTV leitet sich im Wesentlichen aus ihrer Toxizität, dem Abbauverhalten in der Umwelt und den hergestellten Mengen ab.

NC wurde von 1914–45 in Mengen von mehreren hunderttausend Tonnen produziert. Zur Toxizität von NC liegen nur wenige Daten vor. Da diese makromolekulare Substanz kaum bioverfügbar ist, wird ihre Toxizität allgemein als gering angesehen. Daher kommt der Hauptkomponente nitrocellulosehaltiger Pulver keine toxikologisch begründete Umweltrelevanz auf Altlastflächen zu. Aufgrund ihrer Wasserunlöslichkeit kann ein Transport nur partikulär erfolgen. Daher ist es unwahrscheinlich, dass NC überhaupt in das Grundwasser gelangt. NC kann jedoch ein erhebliches Explosionsrisiko darstellen, das im Rahmen der Kampfmittelerkundung zu berücksichtigen ist. Welche quantitative Bedeutung NC als Bodeninhaltsstoff von Rüstungsalstandorten in der BRD tatsächlich zukommt, ist bisher weitgehend unbekannt, da nicht darauf untersucht wird.

Hinsichtlich der Sprengöle Ngl und DEGN ist festzustellen, dass diese eine erhebliche physiologische Wirksamkeit besitzen. Dies wird durch die in Bayern abgeleiteten vorläufigen Geringfügigkeitsschwellen (GfS) für DEGN (0,15 µg/l) und Ngl (1 µg/l) wiedergespiegelt. Letztlich spielen Sprengöle jedoch in Realproben nur eine untergeordnete Bedeutung, da sie infolge ih-

rer recht guten Wasserlöslichkeit und Abbaubarkeit nur ein geringes Akkumulationspotenzial besitzen. In Realproben wurden sie bisher nur ausnahmsweise in Bodeneluat oder Grundwasserproben in niedrigen Konzentrationen von allenfalls einigen µg/l nachgewiesen. Zu dem in Tropenpulvern eingesetzten Triethylglykoldinitrat liegen bisher keinerlei Erfahrungswerte vor.

Hohe Umweltrelevanz kommt nitroaromatischen PTV zu. Hierzu zählen neben Di- und (selten) Trinitrotoluol auch Mononitronaphthalin sowie die entsprechenden Abbauprodukte in Form von aromatischen Aminen. Da zu dieser Stoffgruppe ausgedehnte Erfahrungen in der BRD vorliegen, soll dies hier nicht weiter kommentiert werden.

In der Fachöffentlichkeit bisher weitgehend unbekannt ist die Bedeutung der Stabilisatoren und Gelatinatoren. Daher wurden Archivrecherchen zu den Produktionsorten und -mengen dieser Substanzen angestellt. Bis 1939 erfolgte in Deutschland die Herstellung dieser Verbindungen ausschließlich in Uerdingen bei den Chemischen Fabriken – vormals Weiler-ter Meer, später IG Farben Uerdingen. Ab 1939 ging eine MON-TAN-Bereitschaftsanlage bei der IG Farben Wolfen in Betrieb. Weitere geplante Anlagen, z. B. bei der IG Farben Auschwitz Monowitz, wurden bis 1945 nicht fertig gestellt. Produktionszahlen liegen für den Zeitraum 1914–41 sowie lückenhaft für 1942–43 vor (Tabelle 1). Wie man sieht, kommt mengenmäßig Centralit I seit dem Ersten Weltkrieg die größte Bedeutung zu. Seit

Tabelle 1: Stabilisatoren-/Gelatinatorenproduktion Deutschland 1914–1943

Substanz	Produktionsbeginn	Produktionsmenge	Produktionsmenge
		1914-41 (t)	03/1942-07/1943 (t)
Centralit I	1914 oder früher	15.411	8.130
Ethylphenylurethan	Zwischenkriegszeit	5.361	3.226
Diphenylurethan	Zwischenkriegszeit	2.110	1.623
Diphenylamin	1914 oder früher	1.959	185
Centralit II	1914 oder früher	1.647	37
Akardit	1915	1.331	473
Centralit IV	Zwischenkriegszeit	459	317
	<b>Summe</b>	<b>28.278</b>	<b>13.991</b>
		<b>42.269</b>	

## Umweltrelevanz pulvertypischer Verbindungen auf Rüstungsaltsstandorten

der Zwischenkriegszeit kamen als weitere Hauptkomponenten von TLP die Urethane Diphenylurethan (DPU) und Ethylphenylurethan (EPU) hinzu. Alle übrigen Stabilisatoren und Gelatinatoren treten mengenmäßig zurück, können aber auf einzelnen Standorten signifikante Relevanz als Kontaminanten besitzen. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass im Zeitraum 1914–45 in Deutschland rund 55.000 t Pulvergelatinatoren und -stabilisatoren hergestellt wurden.

In Realproben von Sprengplätzen, auf denen TLP vernichtet wurden, konnten in Bodeneluaten und Schichtwasserproben insbesondere Centralit I und EPU sowie DPU in Konzentrationen von einigen Zehn bis einigen Hundert  $\mu\text{g/l}$  nachgewiesen werden, was die Bedeutung dieser drei Verbindungen als Umweltkontaminanten unterstreicht. Auch im Grundwasser wurden diese drei Verbindungen in Konzentrationen von einigen zehn  $\mu\text{g/l}$  nachgewiesen. Hier treten insbesondere bei den Urethanen angesichts der sehr niedrigen vorläufigen Summen-GfS von  $0,1 \mu\text{g/l}$  GfS-Überschreitungen auf. Zur Toxizität von DPU und EPU liegen kaum Daten vor. Da die Stammsubstanz Urethan jedoch als krebserzeugender Arbeitsstoff eingestuft ist, wird auch den pulverrelevanten substituierten Urethanderivaten ein höheres Toxizitätspotenzial beigemessen, als den pulverrelevanten substituierten Harnstoffderivaten (Akarditen und Centraliten), was sich in entsprechend niedrigen vorläufigen GfS widerspiegelt.

Diphenylamin und Akardite finden sich seltener und auch in niedrigeren Konzentrationen (typischerweise einige  $\mu\text{g/l}$  und weniger) in Bodeneluaten, Schicht- und Grundwasserproben von Sprengplätzen mit TLP-Umgang. Über die Toxikologie und das Umweltverhalten von Diphenylamin liegen umfangreiche Kenntnisse vor. Demgegenüber ist zu Akarditen, Centraliten und den erwähnten Urethanen fast nichts bekannt.

Einfache Elutionsversuche von Pulverproben im Labor haben gezeigt, dass PTV sehr leicht durch Wasser aus Pulverbruchstückchen ausgelaugt werden können. Daher ist zu erwarten, dass PTV auch unter realen Umweltbedingungen relativ leicht durch Niederschlags-

wasser mobilisiert und über das Sickerwasser schließlich in das Grundwasser gelangen können.

### 3. Analytik der PTV

Für die Bestimmung von NC in Wasser besteht analytisch kein Bedarf, da NC nicht wasserlöslich ist und daher kaum in das Grundwasser gelangen kann. Es existiert auch keine brauchbare Methode zur Bestimmung von NC in Wasser. Die Bestimmung von NC in Boden oder Sediment kann fallweise sinnvoll sein, beispielsweise wenn der Verdacht besteht, dass Abwassersysteme mit NC verunreinigt sind oder NC in größeren Mengen vergraben wurde. Eine für Routineuntersuchungen geeignete chromatografische Methode zur Bestimmung von NC in Feststoffen existiert nicht. Andere verfügbare Verfahren weisen ebenfalls Schwächen hinsichtlich Empfindlichkeit und möglicherweise auch Richtigkeit auf. Im Bedarfsfall empfiehlt sich meist ein Paket unterschiedlicher, auch mikroskopischer und elementaranalytischer Methoden. Die spurenanalytische Bestimmung von NC wird nicht empfohlen, da falschpositive Ergebnisse wahrscheinlich sind. Wie erwähnt ist NC nicht toxikologisch, sondern nur kampfmitteltechnisch relevant. Daher genügt es in der Regel, Konzentrationen ab  $1\text{--}10 \text{ g/kg}$  analytisch erfassen zu können. Dies ist mit dem erwähnten Analytikpaket zuverlässig möglich. Hierzu existieren in der BRD bisher jedoch nur sehr wenige Praxiserfahrungen.

Die Bestimmung von Nitroguanidin in Boden und Wasser gestaltet sich schwierig, da die Substanz chromatografisch kaum retardiert wird, sodass regelmäßig erhebliche Interferenzen mit anderen Probeninhaltsstoffen zu beobachten sind. Dies macht die Analytik unzuverlässig. Eine Anreicherungsmethode für Nitroguanidin aus Wasser ist nicht bekannt. Insgesamt wird nicht empfohlen, Nitroguanidin routinemäßig in die Untersuchung von PTV aufzunehmen, zumal die Substanz einerseits eine relativ hohe Wasserlöslichkeit besitzt und daher leicht aus kontaminierten

Tabelle 2: Relevante PTV Deutschland 1914–45

#	Synonym/Abkürzung	Verbindung	Verwendung/Herkunft	Bemerkung	GfS	vGfS
1	Akardit I	N,N-Diphenylharnstoff	Pulverstabilisator			Σ Akardite + Centralite 15
2	Akardit II	N-Methyl-N',N'-diphenylharnstoff	Pulverstabilisator			Σ Akardite + Centralite 15
3	Akardit III	N-Ethyl-N',N'-diphenylharnstoff	Pulverstabilisator/-gelatinator	geringe Bedeutung		Σ Akardite + Centralite 15
4	Centralit I	N,N'-Diethyl-N,N'-diphenylharnstoff	Pulverstabilisator/-gelatinator			Σ Akardite + Centralite 15
5	Centralit II	N,N'-Dimethyl-N,N'-diphenylharnstoff	Pulverstabilisator/-gelatinator			Σ Akardite + Centralite 15
6	Centralit III	N-Ethyl-N'-methyl-N,N'-diphenylharnstoff	Pulverstabilisator/-gelatinator	Verwendung für Deutschland nicht belegt		Σ Akardite + Centralite 15
7	Centralit IV	N,N'-Diethyl-N-phenyl-N'-o-tolylharnstoff	Pulverstabilisator/-gelatinator			Σ Akardite + Centralite 15
8	DEGN	Diethylenglycoldinitrat	energetische Komponente			0,15
9	DPA	Diphenylamin	Pulverstabilisator			Σ DPA + NDPA 1,2
10	DPU	N,N-Diphenylurethan	Pulvergelatinator			Σ DPU + EPU 0,1
11	EPU	N-Ethyl-N-phenylurethan	Pulvergelatinator			Σ DPU + EPU 0,1
12	NgI	Trinitroglycerin	energetische Komponente			1
13	2-NDPA	2-Nitrodiphenylamin	DPA-Metabolit in DPA-haltigen Pulvern	nur auf einigen Standorten relevant		Σ DPA + NDPA 1,2
14	4-NDPA	4-Nitrodiphenylamin	DPA-Metabolit in DPA-haltigen Pulvern	nur auf einigen Standorten relevant		Σ DPA + NDPA 1,2
15	2,4-DNDPA	2,4-Dinitrodiphenylamin	DPA-Metabolit in DPA-haltigen Pulvern	nur auf einigen Standorten relevant		
16	2,4'-DNDPA	2,4'-Dinitrodiphenylamin	DPA-Metabolit in DPA-haltigen Pulvern	nur auf einigen Standorten relevant		
17	4,4'-DNDPA	4,4'-Dinitrodiphenylamin	DPA-Metabolit in DPA-haltigen Pulvern	nur auf einigen Standorten relevant		
18	1-NN	1-Nitronaphthalin	Kaloriensenkender Zusatz bzw. Ersatz für Urethane + Centralite			Σ 1-NN + 1,8-Dinitronaphthalin 0,3
19	2,4-DNT	2,4-Dinitrotoluol	Kaloriensenkender Zusatz bzw. Ersatz für Urethane + Centralite		0,05	
20	PETN	Nitropenta	energetische Komponente	Einsatz in PETN-Pulver	10	
21	TNT	2,4,6-Trinitrotoluol	energetische Komponente	Einsatz in Gießling-Pulver	0,2	
22	NC	Nitrocellulose	energetische Komponente	keine toxikologische Bedeutung, wasserunlöslich	entfällt	entfällt
23	DBP	Dibutylphthalat	Pulvergelatinator	ubiquitäre Kontaminante		Σ Phthalate 8
24	DEP	Diethylphthalat	Pulvergelatinator	ubiquitäre Kontaminante		Σ Phthalate 8
25	DPP	Dipentylphthalat	Pulvergelatinator			Σ Phthalate 8
26	TEGN	Triethylenglycoldinitrat	energetische Komponente	Einsatz in Tropenpulvern		

Bereichen abtransportiert wird und andererseits nur eine geringe Toxizität aufweist, was sich in einer hohen in Bayern abgeleiteten vorläufigen GfS widerspiegelt (300 µg/l).

Die Bestimmung aller anderen in *Tabelle 2* genannten PTV ist problemlos mit den für sprengstofftypische Verbindungen entwickelten Methoden möglich. Bei Bodenproben kann die PTV-Bestimmung gemäß DIN ISO 11916-1, bei Wasserproben gemäß DIN EN ISO 22478 erfolgen. Referenzsubstanzen sind für nahezu alle PTV verfügbar. Typische Bestimmungsgrenzen für PTV in Boden liegen bei 0,05 mg/kg und bei 0,10 µg/l für PTV in Wasser. Für die weniger gut mit UV-Detektion messbaren Salpetersäureester erhöhen sie sich in Boden auf 0,15 mg/kg bzw. in Wasser auf 0,25 µg/l.

## 4. Ergebnisse

TLP können in erheblichen Mengen auf Rüstungsaltsstandorten gehandhabt worden sein. Sie enthalten in Form der PTV eine Vielzahl kritischer Inhaltsstoffe, die hinsichtlich ihrer Menge und Umweltrelevanz zwar teilweise hinter den STV zurückstehen, jedoch auf entsprechenden Standorten einen erheblichen Beitrag als

Boden- und Grundwasserkontaminanten beisteuern können. Sie sind durch Wasser leicht aus der Pulvermatrix eluierbar und können auf diesem Weg in das Grundwasser gelangen. Aufgrund der Persistenz insbesondere der Akardite, Centralite, Phthalate, Urethane und möglicher nitroaromatischer Zusätze stellen diese Stoffe ein langfristiges Umweltrisiko dar, das bei Untersuchungen derartiger Standorte berücksichtigt werden muss.

Untersuchungen der Autoren seit 2009 haben an vielen Standorten die praktische Relevanz der PTV belegt. Für fast alle Verbindungen sind analytische Referenzsubstanzen verfügbar. Die Untersuchung in Boden- und Wasserproben kann methodisch analog zur Bestimmung unpolarer STV erfolgen.

Es gibt insbesondere bei den Akarditen, Centraliten und Urethanen erhebliche Defizite bzgl. der Kenntnisse ihrer Toxikologie und möglicher Abbauege in der Umwelt. Es liegen jedoch für die meisten PTV GfS bzw. vGfS vor, sodass grundsätzliche eine Bewertung gefundener Konzentrationen im Grundwasser bereits jetzt möglich ist.

Die Relevanz pulvertypischer Schadstoffe auf Rüstungsaltsstandorten wird bisher deutlich unterschätzt. Häufig werden sie bei Untersuchungen gar nicht oder

nur teilweise berücksichtigt. Dies sollte sich in Zukunft ändern.

## Literatur

- [1] Köhler, J.; Meyer, R.; Homburg, A. (2008). Explosivstoffe. Weinheim: Wiley-VCH.
- [2] Weyrauch, R. (1922): Waffen- und Munitionswesen. Die deutsche Kriegswirtschaft im Bereich der Heeresverwaltung 1914–1918 Bd. 3. Berlin u. a.: de Gruyter.
- [3] Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz & HIM-ASG (Hrsg.) [2005]: Boden gut gemacht. Die Sanierung des Rüstungsaltsstandortes Stadtallendorf.

## Autorenschaft

### Dr. Tobias Bausinger

Envilytix GmbH  
Rheingaustraße 190–196  
65203 Wiesbaden  
Tel.: 0611 / 71 02 80 35  
E-Mail: t.bausinger@envilytix.de  
Web: www.envilytix.de

### Alexander Schwendner

IBH Weimar, Büro Bayern  
Am Weiher 9  
92342 Freystadt  
Tel.: 09179 / 961 67 10  
E-Mail: schwendner@ibh-weimar.de  
Web: www.ibh-weimar.de

## English Summary

*In both World Wars about 1,3 million tonnes of military nitrocellulose-based propellants were produced in Germany. These explosives contained many compounds of environmental concern, eg nitric acid esters, akardites, centralites, urethanes and also some nitroaromatic compounds which can be easily eluted from the nitrocellulose matrix by precipitation or leachate. This study presents a list with the 26 most important ingredients of German World War propellants, analytical procedures for the analysis of these compounds in soil or water and results of the analysis of real-world samples. In conclusion we suggest to include beside high explosives also propellants in the exploration of military contaminated sites.*