

## Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten - Informationsblatt für den Vollzug

### **Vorbemerkung**

Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554) zuletzt geändert am 23. Dezember 2004 (Anpassung der Gefahrstoffverordnung, BGBl. I S. 3758) enthält in § 4 nähere Regelungen zur Bewertung der Ergebnisse von Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung von Verdachtsflächen, schädlichen Bodenveränderungen, altlastverdächtigen Flächen und Altlasten. Die materiellen Maßstäbe der Gefahrenbeurteilung werden in der BBodSchV im Anhang 2 durch Prüf- und Maßnahmenwerte für bestimmte Wirkungspfade und Schadstoffe konkretisiert.

§ 4 Abs. 5 BBodSchV regelt die Bewertung von Schadstoffen, für die in der Verordnung keine Prüf- oder Maßnahmenwerte festgesetzt sind. Für ihre Bewertung sind die zur Ableitung der entsprechenden Werte im Anhang 2 der BBodSchV herangezogenen Methoden und Maßstäbe zu beachten. Diese sind im Bundesanzeiger Nr. 161 a vom 28. August 1999 und in den vom Umweltbundesamt herausgegebenen "Berechnungen von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten" (E. Schmidt, Berlin, 1999) veröffentlicht.

Die Länder haben für die bodenschutzrechtlichen Aufgaben einen dringenden Bedarf an Prüfwerten für weitere Schadstoffe benannt. Die Vorarbeiten auf Seiten des Bundes zur Ableitung solcher Werte sind unterschiedlich weit fortgeschritten. Um Prüfwerte allgemein verbindlich zu machen, bedarf es einer Änderung der BBodSchV mit Zustimmung der Länder. Bis zu einer Ergänzung der BBodSchV um weitere Prüfwerte zum Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt), hat der Altlastenausschuss (ALA) der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) die vorliegende Dokumentation über Schadstoffe erarbeitet, für welche diese Arbeiten bereits weit fortgeschritten oder schon abgeschlossen sind.

Diese Dokumentation enthält **stoffbezogene Berechnungen** für 64 insbesondere altlastrelevante Stoffe und Stoffgruppen (incl. rüstungsaltspezifischer Stoffe einschließlich chemischer Kampfstoffe und deren Abbauprodukte) **für den Pfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)** sowie Hinweise auf deren Bestimmung in Bodenmaterialien.

Im Dezember 2000 hat der ALA erstmals beschlossen, diese Dokumentation der LABO mit der Bitte vorzulegen, diese in Form einer Informationsschrift den Ländern als Arbeitshilfe für den Vollzug zur Verfügung zu stellen. Mit Zustimmung der LABO wurde die Informationsschrift seitdem mehrfach aktualisiert (Fassung vom 20.03.2002, vom 24.03.2003 und 09.09.2004). Im Januar 2006 hat der ALA und im März 2006 die LABO der vorliegenden Aktualisierung zugestimmt.

Die abschließend bearbeiteten **Berechnungen** sind der Veröffentlichung des Umweltbundesamtes (Hrsg.) „Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten“ (kurz PBA)<sup>1)</sup> zu entnehmen.

---

<sup>1)</sup> Sonderausgabe zum Handbuch „Bodenschutz“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Grundwerk 1999, 1. Ergänzungslieferung VII/2002, 2. Ergänzungslieferung IV/2003, 3. Ergänzungslieferung XI/2003 (<http://www.esv.info/download/inhvzch/3503058257.pdf>).

Dort werden im Teil 2a ergänzende Ableitungsmethoden und –maßstäbe bei flüchtigen Stoffen erläutert. Diese werden in Teil 4 ‚*Stoffbezogene Berechnungen als orientierende Hinweise auf Prüfwerte für nicht in der BBodSchV mit Prüfwerten zum Wirkungspfad Boden-Mensch geregelten Stoffe*‘ und in Teil 5 ‚*Stoffbezogene Berechnungen als behelfsmäßige Boden-Orientierungswerte für nicht in der BBodSchV zum Wirkungspfad Boden-Mensch geregelten Stoffe für die Einzelfallprüfung bei Rüstungsaltpasten*‘ verwendet. Die Dokumentation zu Kampfstoffen und deren Abbauprodukte soll ebenfalls in PBA veröffentlicht werden.

Toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung sind der Loseblattsammlung „Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen“<sup>2)</sup> zu entnehmen.

## Begriffe

In den folgenden vier Tabellen werden die stoffbezogenen Berechnungen, differenzierend nach ihrer Übereinstimmung mit den Methoden und Maßstäben der BBodSchV und der unterschiedlichen Datenqualität, mit den folgenden Begrifflichkeiten bezeichnet:

### Tabelle 1 **Prüfwert-Vorschläge für nichtflüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen):**

Die Berechnungen für Prüfwert-Vorschläge erfolgten auf Grundlage der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28. August 1999. Die Berechnungen unterscheiden sich nicht von denen der Prüfwerte der BBodSchV. Diese **Prüfwert-Vorschläge sind den Prüfwerten der BBodSchV fachlich gleichwertig.**

Die humantoxikologischen Bewertungsmaßstäbe (tolerierbare resorbierte Dosis, TRD-Werte) für die Stoffe bzw. Stoffgruppen der Tabelle 1 sind analog zur Vorgehensweise bei den Stoffen, die bereits in der BBodSchV geregelt sind, konsentiert worden.

### Tabelle 2 **Orientierende Hinweise auf Prüfwerte für flüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen):**

Die Berechnungen dieser Hinweise erfolgten nicht ausschließlich auf Grundlage der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28. August 1999, sondern auch auf Grundlage der „Ergänzenden Ableitungsmethoden und -maßstäbe bei weiteren Stoffen (flüchtige Stoffe)“ (als Teil 2 PBA). Die Ableitung verwendet Expositionsszenarien mit höherer Abhängigkeit von den Randbedingungen des Einzelfalls.

Die humantoxikologischen Bewertungsmaßstäbe (TRD-Werte) für die Stoffe bzw. Stoffgruppen der Tabelle 2 sind analog zur Vorgehensweise bei den Stoffen, die bereits in der BBodSchV geregelt sind, konsentiert worden.

### Tabelle 3 **Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte (stoffbezogene Berechnungen) für Explosivstoffe und deren Abbauprodukte:**

Bei diesen Stoffen ist es auf Grund eingeschränkter Datenbasis nicht immer möglich gewesen, methodisch konsistent toxikologische Beurteilungswerte (TRD-Werte) abzuleiten. Ersatzweise wird eine orientierende Abschätzung der tolerierbaren Körperdosen vorgenommen. Ein derartiges Vorgehen besitzt eine geringere Belastbarkeit als die Prüfwertableitung nach der Methodik der BBodSchV. Diese Stoffe wurden im Teil 5 PBA als „behelfsmäßige Boden-Orientierungswerte für Einzelfallprüfungen bei Rüstungsaltpasten“ gekennzeichnet.

---

<sup>2)</sup> Eikmann T. / Heinrich U. / Heinzow B. / Konietzka R., „Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Grundwerk 1999, 11. Ergänzungslieferung XI/2005 (<http://www.esv.info/download/inhvzch/3503050833.pdf>).

Tabelle 4 **Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte (stoffbezogene Berechnungen) für chemische Kampfstoffe und deren Abbauprodukte:** Bei diesen Stoffen ist auf Grund eines spezifischen Expositionsszenarios (akute Wirkung bei kurzfristiger Exposition von 1 Stunde insbesondere gegenüber Stäuben) eine Nutzungsdifferenzierung nicht sinnvoll. Zugleich ist die toxikologische Datenlage zu den Kampfstoffen sehr unterschiedlich. Für diese Stoffe wird unter Verweis auf das besondere Expositionsszenario daher für alle Nutzungen nur **ein** behelfsmäßiger Bodenorientierungswert angegeben.

Soweit auf Grund des Ergebnisses der stoffbezogenen Berechnungen in den Tabellen 1-3 kein Werte-Vorschlag gegeben werden konnte, sind die Stoffe informell aufgeführt.

### Prüfwert-Vorschläge für nichtflüchtige Stoffe

Diese Prüfwert-Vorschläge sind den Prüfwerten der BBodSchV hinsichtlich der Ableitungsmethodik gleichwertig.

Tabelle 1: Prüfwert-Vorschläge für nichtflüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen)

	Stoff/Stoffgruppe	Chemical Abstracts Services-Nr.	Prüfwert-Vorschläge [mg/kg TM]			
			Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park- u. Freizeitanlagen	Industrie- u. Gewerbegrundstücke
1.	Antimon u. Verb.	7440-36-0 (Sb)	50	100	250	250
2.	Beryllium u. Verb.	7440-41-7 (Be)	250	500	500	500
3.	Chrom (VI)	18540-29-9	130	250	250	130 <sup>4)</sup>
4.	Kobalt u. Verb.	7440-48-4 (Co)	300	600	600	300 <sup>4)</sup>
5.	Thallium u. Verb.	7440-28-0 (Tl)	5	10	25	keine Daten
6.	Vanadium u. Verb.	7440-62-2	280	560	1400	unpraktikabel hoch <sup>5)</sup>
7.	PAK, gesamt	---	i n B e a r b e i t u n g			
8.	Dinitrotoluol; 2,4- R <sup>3)</sup>	121-14-2	3	6	15	50
9.	Dinitrotoluol; 2,6- R <sup>3)</sup>	606-20-2	0,2	0,4	1	5
10.	Diphenylamin	122-39-4	u n p r a k t i k a b e l h o c h <sup>5)</sup>			
11.	Hexogen	121-82-4	100	200	500	500
12.	Hexanitrodiphenylamin (Hexyl) R <sup>3)</sup>	131-73-7	150	300	750	1500
13.	Nitropenta (PETN)	78-11-5	500	1000	2500	5000
14.	Oktogen (HMX)	2691-41-0	u n p r a k t i k a b e l h o c h <sup>5)</sup>			
15.	Trinitrobenzol; 1,3,5-	99-35-4	u n p r a k t i k a b e l h o c h <sup>5)</sup>			
16.	Trinitrotoluol; 2,4,6- R <sup>3)</sup>	118-96-7	20	40	100	200

<sup>3)</sup> Da rüstungsspezifische nitroaromatische Stoffe (R) häufig in Stoffgemischen vorkommen und ein ähnliches Wirkungsspektrum aufweisen, sind Kombinationswirkungen der Nitroaromaten bei Rüstungsaltlasten in zwei Gruppen (kanzerogene und nicht kanzerogene Wirkung) zu berücksichtigen. Näheres dazu siehe Teil 2b der PBA (,Ergänzende Ableitungsmethoden und –maßstäbe bei weiteren Stoffen – rüstungsspezifische Stoffe –).

<sup>4)</sup> Für kanzerogene Wirkung bei 20 Jahren Arbeitszeit (bei längeren Arbeitszeiten entsprechend niedriger)

<sup>5)</sup> g/kg -Bereich

### **Orientierende Hinweise auf Prüfwerte für flüchtige Stoffe**

Für flüchtige Stoffe wurde ein neues Szenario entwickelt, das unter bestimmten, bisher nicht festgelegten Expositionsannahmen den Übergang von Schadstoffen über die Bodenluft in Gebäude hinein und eine Anreicherung in geschlossenen Räumen beschreibt. Bei diesem Expositionsszenario können unter den Randbedingungen des Einzelfalls auch bei Unterschreitung der abgeleiteten Werte Gefährdungen nicht ausgeschlossen werden. Stoffbezogene Berechnungen, denen weitere Expositionsszenarien (gegenüber den Ableitungsmethoden und –maßstäben im Bundesanzeiger Nr. 161 a) zu Grunde liegen, werden als **orientierende Hinweise auf Prüfwerte** bezeichnet.

In der Tabelle **Orientierende Hinweise auf Prüfwerte für flüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen)** werden diejenigen Stoffe geführt, bei denen beim Vergleich verschiedener Aufnahmepfade (oral, inhalativ, dermal) der Expositionspfad „Anreicherung in geschlossenen Räumen“ und inhalative Aufnahme den Ausschlag für die Ableitung eines Wertes für die angegebenen Nutzungen gibt. Bei diesen Stoffen ist aufgrund der starken Verdünnung von Bodenluft in die Außenluft bzw. bei oraler Bodenaufnahme eine Gefährdung von Kindern im Außenbereich (Nutzungskategorien Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen) erst bei hohen Konzentrationen möglich – die im Einzelnen berechneten Konzentrationen sind hier nicht aufgeführt und aufgrund ihrer Höhe in der Regel nicht bewertungsrelevant (Näheres s. „Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1999).

**Soweit Kinderspielflächen an Wohngebäude angrenzen, sind die Flächen bezüglich einer möglichen Innenraumbelastung als 'Wohngebiete' zu untersuchen und zu bewerten.**

Es wird darauf hingewiesen, dass die ergänzenden Ableitungsmethoden und -maßstäbe für **flüchtige Stoffe** zu orientierenden Hinweisen auf Prüfwert-Konzentrationen führen, die in ihrer rechtlichen Verbindlichkeit nicht denen gleichzusetzen sind, die auf Grundlage der für den Anhang 2 BBodSchV herangezogenen Methoden und Maßstäben abgeleitet wurden. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Verallgemeinerungsfähigkeit des Expositionsszenarios für flüchtige Stoffe als geringer eingeschätzt werden muss, da der Eintrag von flüchtigen Stoffen aus dem Boden in die Raumluft weitgehend von standortspezifischen Faktoren abhängig ist.

Für den Transfer Bodenluft -> Kellerinnenraumluft wird ein Transferfaktor von 1000:1 zu Grunde gelegt, der für viele Fälle als ausreichend konservativ beschrieben wird. Hierbei ist zu beachten, dass dieser Transferfaktor im Einzelfall bei ungünstigen Bedingungen niedriger liegen kann, was dann zu einer Risikounterschätzung führen würde. Er kann aber auch – ggf. je nach Bausubstanz – deutlich höher liegen.

**Die Anwendung der Werte für die flüchtigen Stoffe bedarf daher der Einzelfallprüfung.**

Bei flüchtigen Stoffen ist zu berücksichtigen, dass das entnommene Probenmaterial repräsentativ für den zu bewertenden Bodenbereich sein muss; im Zusammenhang mit dem Expositionspfad „Anreicherung in geschlossenen Räumen“ bedeutet dies, dass das Bodenmaterial aus einer dem Übertritt von Bodenluft in Innenraumluft entsprechenden Tiefe (ggf. tiefer) entnommen sein sollte. Bodenmaterial aus dem oberen Bodenmeter ist für eine Bewertung in der Regel ungeeignet.

**Es handelt sich daher um eine von der in Tabelle 1, Anhang 1 der BBodSchV aufgeführten notwendigerweise begründet abweichenden Probennahme.**

Bei der Entnahme und Vorbereitung von Bodenmaterial für die Analyse von flüchtigen Stoffen ist das Handbuch Altlasten des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Band 7, Analyseverfahren – Fachgremium Altlastenanalytik-, Teil 4 Bestimmung von BTEX/LHKW in Feststoffen

aus dem Altlastenbereich, zu beachten (insbesondere die Überschichtung von Probenmaterial mit entsprechendem Lösungsmittel vor Ort).

Tabelle 2: Orientierende Hinweise auf Prüfwerte für flüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen)

	Stoff/Stoffgruppe	Chemical Abstracts Services-Nr.	Orientierende Hinweise auf Prüfwert [mg/kg TM]	
			Wohngebiete	Industrie- u. Gewerbegrundstücke
17.	Benzin	8006-61-9	- <sup>6)</sup>	- <sup>6)</sup>
18.	Benzol	71-43-2	0,1 <sup>7)</sup>	0,4
19.	Ethylbenzol	100-41-4	3	30
20.	Chlorbenzol	108-90-7	15	170
21.	Chloroform	67-66-3	0,1	0,5
22.	Dichlorbenzol; m-	541-73-1	50	unpraktikabel hoch
23.	Dichlorbenzol; o-	95-50-1	50	unpraktikabel hoch
24.	Dichlorbenzol; p-	106-46-7	50	unpraktikabel hoch
25.	Dichlormethan	75-00-2	0,1	2
26.	Dichlorpropan; 1,2	78-87-5	1	5
27.	Nitrobenzol	98-95-3	1	15
28.	Phenol	108-95-2	50	unpraktikabel hoch
29.	Tetrachlorethan; 1,1,2,2-	79-34-5	0,03	0,3
30.	Tetrachlorethen (PER)	127-18-4	1,5	25
31.	Toluol	108-88-3	10	120
32.	Trichlorbenzol; 1,2,4-	120-82-1	25	300
33.	Trichlorethan; 1,1,1-	71-55-6	15	180
34.	Trichlorethen	79-01-6	0,3	5
35.	Trimethylbenzol; 1,3,5- u. andere TMB-Isomere	108-67-8	200	2000
36.	Xylole	1330-20-7	10	100

<sup>6)</sup> Der Expositionspfad „Anreicherung in geschlossenen Räumen“ kann von Bedeutung sein. Eine quantitative Abschätzung für das komplexe Stoffgemisch Benzin ist allerdings methodisch nicht möglich. Zur Bewertung wird empfohlen, die toxikologisch relevanten Inhaltsstoffe Benzol und Toluol zu bestimmen und ggf. auch geruchliche Belastungen zu berücksichtigen.

<sup>7)</sup> 0,1 mg/kg entspricht der Bestimmungsgrenze. Das Bestimmungsverfahren (nach Überschichtung der Probe mit Lösungsmittel im Feld und gemäß ISO DIS 22155-Extraktion mit Methanol und Headspace – GC-MSD) für diesen Konzentrationsbereich ist validiert (Ringversuches zur Validierung der Benzolanalytik im Spurenbereich, T. Win, U. Erhardt, R. Schmieder, K. Kaminski, W. Walther, I. Nehls, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin, Nov. 2005).

### Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte

Bei den Stoffen nach **Tabelle 3** handelt es sich um Nitroaromaten, für die die unter Fußnote <sup>2)</sup> aufgeführte Summenwirkung entsprechend zu berücksichtigen ist. Bei diesen Stoffen ist es auf Grund eingeschränkter Datenbasis nicht immer möglich gewesen, methodisch konsistent toxikologische Beurteilungswerte (TRD-Werte) abzuleiten. Ersatzweise wird eine orientierende Abschätzung der tolerierbaren Körperdosen vorgenommen.

Tabelle 3: Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte (stoffbezogene Berechnungen) für Einzelfallprüfungen bei Rüstungsalastlasten (Stoffe ohne TRD-Wert)

	Stoff/Stoffgruppe	Chemical Abstracts Services-Nr.	behelfsmäßige Bodenorientierungswerte [mg/kg TM]			
			Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park- u. Freizeitanlagen	Industrie- u. Gewerbegrundstücke
37.	4-Amino-2,6-dinitrotoluol	19406-51-0	20	40	100	200
38.	2-Amino-4,6-dinitrotoluol	35572-78-2	20	40	100	200
39.	Dinitrodiphenylamin; 2,4-	961-68-2	keine Daten			
40.	Dinitrobenzol; 1,3-	99-65-0	15	30	75	150
41.	Nitrodiphenylamin; 2-	119-75-5	keine Daten			
42.	Nitrodiphenylamin; 4-	836-30-6	unpraktikabel hoch			
43.	Nitrotoluol; 2-	88-72-2	0,2	0,4	1	5
44.	Nitrotoluol; 3-	99-08-1	-	1000 <sup>*)</sup>	unpraktikabel hoch	
45.	Nitrotoluol; 4-	99-99-0	-	250 <sup>*)</sup>	-	3000 <sup>*)</sup>
46.	N-Methyl-N,2,4,6-tetra-nitroanilin (Tetryl)	479-45-8	200	400	1000	2000
47.	Trinitrophenol; 2,4,6-(Pikrinsäure)	88-89-1	8	15	40	80

<sup>\*)</sup> Auf Grundlage der ergänzenden Ableitungsverfahren und -maßstäbe für flüchtige Stoffe (Teil 2a PBA); s.a. Ausführungen zu ‚Flüchtige Stoffe‘

Bei den Stoffen nach **Tabelle 4** handelt es sich um chemische Kampfstoffe und deren Abbauprodukte, bei denen auf Grund der Stoffeigenschaften naturgemäß akute Wirkungen im Vordergrund stehen. Die dargestellten Bodenorientierungswerte basieren auf folgenden Expositionsszenarien, die die Reizwirkungen auf Augen, Atemtrakt und/oder Haut beschreiben:

- akute Exposition ( $\leq 1$  Stunde) gegenüber Stoffen in der Außenluft
- akute Exposition ( $\leq 1$  Stunde) gegenüber kontaminierten Stäuben
- akute dermale Exposition ( $\leq 1$  Stunde) mit kontaminiertem Boden.

Allen drei Szenarien ist gemein, dass nach Eingriffen in den Boden (Erdbebewegungen, kleinere Baumaßnahmen) exponierte Personen (Kinder, Erwachsene) unmittelbar in Kontakt mit der kontaminierten Erde treten (Spielen der Kinder bzw. Arbeiten im Bereich der bewegten Erde). Es kann eine starke zeitliche Variabilität der Exposition angenommen werden: Hohe Belastungen sind vermutlich nur in kurzen Zeiträumen nach den Erdbebewegungen zu erwarten.

Eine Zuordnung zu einer der von der BBodSchV aufgeführten Nutzung ist damit nicht möglich, daher wird unter Verweis auf diese Szenarien nur **ein** Zahlenwert angegeben.

Die verwendeten Szenarien für die inhalative Aufnahme (Exposition gegenüber gasförmigen oder staubgebundenen Stoffen) gehen von einem Expositionszeitraum von bis zu 1 Stunde bei ungüns-

tigste austauscharmer Wetterlage (geringer Transferfaktor Bodenluft- Außenluft) bzw. von einer erhöhten Staubkonzentration von 6 mg/m<sup>3</sup> als ‚worst case‘ aus.

Es ist zu beachten, dass die Bewertung von Bodenbelastungen aus Kampfstoffen nur unter Berücksichtigung der besonderen Expositionsannahmen der einzelstoffbezogenen Ableitungen erfolgen kann. Weiter ist zu beachten, dass die ungleichmäßige Verteilung der Stoffe im Boden in besonderer Weise relevant ist. In Hinblick auf den Anwendungszweck dieser Stoffe ist bei Bearbeitung von Kampfstoffaltlasten die Risikokommunikation mit Betroffenen sorgfältig zu planen und durchzuführen.

Tabelle 4: Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte (stoffbezogene Berechnungen) für chemische Kampfstoffe und deren Abbauprodukte:

	Stoff	Chemical Abstracts Services-Nr.	Orientierungswert [mg/kg TM]	Bemerkungen
48	S-Lost	505-60-2	0,5	hohe akute Toxizität, Luft <sup>8)</sup>
49	Thiodiglykol	111-48-8	-	geringe Toxizität, hohe rechnerische Werte nicht als Prüfwerte vorgeschlagen
50	1,3-Dithian	505-23-7	-	keine Daten, erhebliche geruchliche Belästigung, keine Geruchsschwelle
51	1,4-Dithian	505-29-3	-	geringe Toxizität, erhebliche geruchliche Belästigung, keine Geruchsschwellen
52	1,4-Oxathian	15980-15-1	-	keine Daten, erhebliche geruchliche Belästigung, keine Geruchsschwelle
53	Chlorpikrin <sup>9)</sup>	76-06-2	0,3	akute Reizwirkung, Luft
54	Chloracetophenon <sup>9)</sup>	1341-24-8	3	akute Reizwirkung, Luft
55	Acetophenon	98-86-2	1000	geringe Toxizität, Bewertung anhand der geruchlichen Belästigung
56	Clark I <sup>9)</sup>	712-48-1	5	hohe akute Toxizität, Staub; Luft wäre 3 mg/kg <sup>10)</sup>
57	Clark II <sup>9)</sup>	23525-22-6	1	hohe akute Toxizität, Staub
58	Adamsit <sup>9)</sup>	578-94-9	2	hohe akute Toxizität, Staub
59	Pfiffikus <sup>9)</sup>	696-28-6	3	hohe akute Toxizität, Luft
60	Monophenylarsin	nicht bekannt	-	keine Daten, geringe toxikologische Bedeutung, Toxizität wird bestimmt durch As-Gehalt
61	Diphenylarsin	829-83-4	-	keine Daten, geringe toxikologische Bedeutung, Toxizität wird bestimmt durch As-Gehalt
62	Triphenylarsin	603-32-7	-	keine Daten, geringe toxikologische Bedeutung, Toxizität wird bestimmt durch As-Gehalt
63	Bis-Diphenylarsinoxid <sup>9)</sup>	2215-16-9	2	keine quantitativen Daten, Strukturvergleich mit Clark I und Clark II
64	Diphenylarsinsäure	4656-80-8	-	keine Daten, geringe toxikologische Bedeutung, Toxizität wird bestimmt durch As-Gehalt

<sup>8)</sup> Die Ableitung eines Orientierungswertes für die langfristige orale Exposition führt zu einem Wert in der gleichen Größenordnung. Bei S-Lost ist zu berücksichtigen, dass dieser Stoff meist verklumpt in Aggregaten mit polymerer Grenzschicht und intaktem Kern vorliegt.

<sup>9)</sup> Zur Berücksichtigung von möglichen additiven Wirkungen bei Vorliegen von Kampfstoffgemischen wird bei den mit <sup>9)</sup> gekennzeichneten Stoffe eine gewichtete Addition unter Verwendung der stoffspezifischen behelfsmäßigen Bodenorientierungswerte empfohlen (siehe Ableitungsbedingungen).

<sup>10)</sup> Es ist fraglich, ob im Boden vorliegendes Clark I in einem der Modellrechnungen entsprechendem Maße in die Bodenluft übertritt. Durch oberflächliche Hydrolyse von Clark I-Klumpen kann die Muttersubstanz im Inneren dieser Klumpen durch die Bildung einer äußeren Schicht von Bis-Diphenylarsinoxid, das vergleichbar toxisch wie Clark I ist, gegen weitere Hydrolyse, aber auch gegen das Austreten in die Gasphase geschützt sein.

## Hinweise zur Bestimmung der Schadstoffe im Bodenmaterial

### zu Tabelle 1: Prüfwert-Vorschläge für nichtflüchtige Stoffe

Für die Bestimmung von Metallen und Halbmetallen mit Ausnahme von Thallium: Königswasser-aufschluss nach DIN ISO 11466 (06.1997); Für Thallium: Aufschluss mittels HNO<sub>3</sub>

	Stoff/Stoffgruppe	Analyseverfahren	
1	Antimon und Verb.	AAS	DIN 38405-D32-2 (E 11/96)
		ICP-OES	DIN EN ISO 11885 (4/98)
2	Beryllium und Verb.	ICP-OES	DIN EN ISO 11885 (4/98)
3	Chrom (VI)	Photo-metrie	DIN 19734; Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von Chrom (VI) in phosphatgepufferter Lösung
4	Kobalt und Verb.	AAS	E DIN ISO 11047-2 (06/95)
		ICP-OES	DIN EN ISO 11885 (4/98)
5	Thallium und Verb.	AAS	DIN 38406 E 26 (07/97) <sup>11)</sup>
		ICP-OES	DIN EN ISO 11885 (4/98)
6	Vanadium und Verb.	ICP-OES	DIN EN ISO 11885 (4/98)
7	PAK, gesamt	DIN ISO 13877 (01/2000); Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen – Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie-(HPLC-) Verfahren. E DIN ISO 18287 (01/2004); Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) - Gaschromatographisches Verfahren mit Nachweis durch Massenspektrometrie (GC-MS). „Bestimmung von PAK in Feststoffen aus dem Altlastenbereich“, Handbuch Altlasten Bd. 7, Analyseverfahren Fachgremium Altlastenanalytik Teil 1, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden 1998. Alternativ zum GC-Verfahren HPLC-Verfahren gemäß: „Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Bodenproben“; LUA-Merkblatt Nr. 1, Landesumweltamt NRW, Essen 1994.	
8	Dinitrotoluol; 2,4-	Bestimmung von ausgewählten sprengstofftypischen Verbindungen mittels Kapillargaschromatographie in Feststoffen aus dem Altlastenbereich , Handbuch Altlasten Bd. 7, Analyseverfahren Fachgremium Altlastenanalytik Teil 5, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden 2003;	
9	Dinitrotoluol; 2,6-	Siehe Analyseverfahren zu 8	
10	Diphenylamin	<sup>12)</sup>	
11	Hexogen	<sup>12)</sup>	
12	Hexanitrodiphenylamin (Hexyl)	<sup>12)</sup>	
13	Nitropenta (PETN)	<sup>12)</sup>	
14	Oktogen (HMX)	<sup>12)</sup>	
15	Trinitrobenzol; 1,3,5-	Siehe Analyseverfahren zu 8	
16	Trinitrotoluol; 2,4,6-	Siehe Analyseverfahren zu 8	

<sup>11)</sup> Tl-Bestimmung ausschließlich nach HNO<sub>3</sub>-Aufschluss; bei Königswasserauszug Minderbefunde durch schwerlösliches Thallium(I)chlorid.

<sup>12)</sup> Für diese Parameter existieren zurzeit keine geeigneten Analyseverfahren in der Feststoffanalytik. Daher kann übergangsweise, nach Adaption im Labor abhängig von der speziellen Fragestellung, auf Wassernormen wie z.B. DIN 38407-17, Ausgabe:1999-02  
 DIN 38407-21, Ausgabe:2001-12 oder  
 DIN EN ISO 17495, Ausgabe:2003-09 zurückgegriffen werden

zu **Tabelle 2:** Orientierende Hinweise auf Prüfwerte für flüchtige Stoffe

	<b>Stoff/Stoffgruppe</b>	<b>Analysenverfahren</b>
17	Benzin	Siehe Analyseverfahren zu 18
18	Benzol	„Bestimmung von BTEX/LHKW in Feststoffen aus dem Altlastenbereich“, Handbuch Altlasten Bd. 7, Analysenverfahren Fachgremium Altlastenanalytik Teil 4, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden 2000; Extraktionsmittel ist bereits vor der Probennahme in die Probengefäße vorzulegen, so dass eine Überschichtung im Feld erfolgt; Hinweis zur Probennahme: <a href="http://www.hlug.de/altlasten">www.hlug.de/altlasten</a> unter Altlastenanalytik
19	Ethylbenzol	Siehe Analyseverfahren zu 18
20	Chlorbenzol	Siehe Analyseverfahren zu 18
21	Chloroform	Siehe Analyseverfahren zu 18
22	Dichlorbenzol; m-	Siehe Analyseverfahren zu 18
23	Dichlorbenzol; o-	Siehe Analyseverfahren zu 18
24	Dichlorbenzol; p-	Siehe Analyseverfahren zu 18
25	Dichlormethan	Siehe Analyseverfahren zu 18
26	Dichlorpropan; 1,2-	Siehe Analyseverfahren zu 18
27	Nitrobenzol	<sup>12)</sup>
28	Phenol (Einzelstoff)	ISO/DIS 14154, Soil quality - Determination of selected phenols and chlorophenols - Gaschromatographic method (Norm-Entwurf)
29	Tetrachlorethan; 1,1,2,2-	Siehe Analyseverfahren zu 18
30	Tetrachlorethen (PER)	Siehe Analyseverfahren zu 18
31	Toluol	Siehe Analyseverfahren zu 18
32	Trichlorbenzol; 1,2,4-	Siehe Analyseverfahren zu 18
33	Trichlorethan; 1,1,1-	Siehe Analyseverfahren zu 18
34	Trichlorethen	Siehe Analyseverfahren zu 18
35	Trimethylbenzol; 1,3,5- und andere TMB-Isomere	Siehe Analyseverfahren zu 18
36	Xylole	Siehe Analyseverfahren zu 18

zu **Tabelle 3:** Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte für Einzelfallprüfungen bei Rüstungsaltlasten (Stoffe ohne TRD-Wert)

	<b>Stoff</b>	<b>Analysenverfahren</b>
37	4-Amino-2,6-dinitrotoluol	Siehe Analyseverfahren zu 8
38	2-Amino-4,6-dinitrotoluol	Siehe Analyseverfahren zu 8
39	Dinitrodiphenylamin; 2,4-	<sup>12)</sup>
40	Dinitrobenzol; 1,3-	<sup>12)</sup>
41/42	Nitrodiphenylamin; 2- und 4-	<sup>12)</sup>
43	Nitrotoluol; 2-	Siehe Analyseverfahren zu 8
44	Nitrotoluol; 3-	Siehe Analyseverfahren zu 8
45	Nitrotoluol; 4-	Siehe Analyseverfahren zu 8
46	N-Methyl-N,2,4,6-tetranitroanilin (Tetryl)	<sup>12)</sup>
47	Trinitrophenol; 2,4,6- (Pikrinsäure)	<sup>12)</sup>

**zu Tabelle 4:** Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte für chemische Kampfstoffe und deren Abbauprodukte

Nationale oder internationale Normen zur Bestimmung von chemischen Kampfstoffen und ihren Abbauprodukten in Böden (vgl. Tabelle 4) liegen derzeit nicht vor. Es können daher nur Hinweise auf ihre analytische Bestimmung gegeben werden. Die aktuellen Entwicklungen zur Kampfstoffanalytik werden z.B. in folgenden Übersichtsarbeiten dargestellt:

- D'Agostino PA; JacksonLepage CR; Hancock JR; Chenier CL (2005): Analysis of Chemical Warfare Agents by GC-MS: Second Chemical Cluster CRTI Training Exercise. Govt Reports Announcements & Index (GRA&I), Issue 16, 2005
- D'Agostino PA; Lepage CR; Hancock JR; Chenier CL (2004): Analysis of Chemical Warfare Agents by GC-MS: First Chemical Cluster CRTI Training Exercise. Govt Reports Announcements & Index (GRA&I), Issue 07, 2004
- D'Agostino PA; Hancock JR; Provost LR (2001): DRES Chemical Warfare Agent Literature Database of Analytical Methods. Govt Reports Announcements & Index (GRA&I), Issue 18, 2001
- D'Agostino PA; Chenier CL; Hancock JR (2004): Sampling Handling and Analysis Method for Chemical Warfare Agents in Soils Contaminated With Chemical and/or Biological Warfare Agents. Govt Reports Announcements & Index (GRA&I), Issue 02, 2004

Validierte Methoden zur Analytik von chemischen Kampfstoffen, die in den Untersuchungsprogrammen zur Erkundung von Rüstungsaltslasten in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen zur Anwendung kamen, finden sich bei K. Schoene, H.-J. Bruckert, J. Steinhanes: Analytik Kampfstoff-kontaminierter Rüstungsaltslasten. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1995 (Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis; Bd. 74).

Informationen zur Analytik chem. Kampfstoffe können ggf. auch Thieme (2001) ‚Ermittlung relevanter branchentypisch-spezifischer Parameter für eine effektive Untersuchung von Rüstungsaltslastverdachtsstandorten und Rüstungsaltslasten‘, Ufoplan Forschungsvorhaben 299 76 227, Umweltbundesamt, Berlin 2001 entnommen werden.

Grundvoraussetzung für die Durchführung der Analytik ist, dass das untersuchende Labor (trotz schwieriger Beschaffung) über Originalstandards zur Optimierung und Kalibrierung des Meßsystems verfügt – ein Vergleich von Massenspektren mit Spektrenbibliotheken ist nicht hinreichend.

Im Fall der Stoffe mit den lfd. Nummern 60-62 (Monophenylarsin, Diphenylarsin und Triphenylarsin) sowie 64 (Diphenylarsinsäure) aus Tabelle 4 erfolgt die Bestimmung des Gesamt-Arsengehaltes nach bekannten Verfahren.