

Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten **Informationsblatt für den Vollzug**

Inhaltsübersicht:

1. Prüfwert -Vorschläge für **nichtflüchtige Stoffe**
2. Orientierende Hinweise für **flüchtige Stoffe – Bodenfeststoffwerte**
3. Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte für **Explosivstoffe**
und deren Abbauprodukte
4. Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte für **chemische Kampfstoffe**
und deren Abbauprodukte
5. Orientierende Hinweise für **flüchtige Stoffe** – Bewertungshinweise für
Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft bezüglich einer Anreicherung
in der Innenraumluft (Szenario „Wohngebiete“)
6. Hinweise zur Bestimmung der Schadstoffe im Bodenmaterial

Vorbemerkung

Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554) zuletzt geändert am 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758) enthält in § 4 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 (UBA) herausgegebenen "Berechnungen von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten" (E. Schmidt, Berlin, 1999) veröffentlicht.

Die Länder haben einen dringenden Bedarf an Prüfwerten für weitere Schadstoffe benannt. Um Prüfwerte allgemein verbindlich zu machen, bedarf es einer Änderung der BBodSchV. Bis zur Ergänzung der BBodSchV um weitere Prüfwerte zum Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) legt der Altlastenausschuss (ALA) der LABO die vorliegende Dokumentation über Schadstoffe, für die diese Arbeiten bereits weit fortgeschritten oder abgeschlossen sind, vor.

Diese Dokumentation enthält **stoffbezogene Berechnungen** für **64 altlastrelevante Stoffe und Stoffgruppen** (incl. rüstungsaltlastspezifischer Stoffe, 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 die Dokumentation erstmals der LABO mit der Bitte vorgelegt, diese den Ländern als Arbeitshilfe für den Vollzug zu empfehlen. Seitdem wurde sie mehrfach aktualisiert (Fassung vom 20.03.2002, 24.03.2003, 09.09.2004 und 21.03.2006).

Die abschließend bearbeiteten **Berechnungen** sind der Veröffentlichung des UBA (Hrsg.) „Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten“ (kurz **PBA**)¹⁾ zu entnehmen. 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 ‚*Behelfsmäßige Boden-Orientierungswerte für die Einzelfallprüfung bei Rüstungsaltlasten – Kampfstoffe, Sprengstoffe und deren Abbauprodukte*‘ verwendet.

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

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

¹⁾ Sonderausgabe zum Handbuch „Bodenschutz“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Grundwerk 1999, 1. Ergänzungslieferung VII/2002, 2. Ergänzungslieferung IV/2003, 3. Ergänzungslieferung XI/2003, 4. Ergänzungslieferung IV/2007, <http://esv.info/download/katalog/inhvzch/9783503058259.pdf>.

²⁾ Eikmann T. / Heinrich U. / Heinzow B. / Konietzka R., „Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Grundwerk 1999, 13. Ergänzungslieferung VI/2007, siehe <http://esv.info/download/katalog/inhvzch/9783503050833.pdf>

1. Prüfwert-Vorschläge für nichtflüchtige Stoffe

Die Berechnungen für Prüfwert-Vorschläge erfolgten auf Grundlage der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161 a. Die Berechnungen unterscheiden sich nicht von denen der Prüfwerte der BBodSchV.

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

	Stoffe	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 ⁴⁾
4.	Kobalt u. Verb.	7440-48-4 (Co)	300	600	600	300 ⁴⁾
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 ⁵⁾
7.	PAK, gesamt	---	i n B e a r b e i t u n g			
8.	Dinitrotoluol; 2,4- R ³⁾	121-14-2	3	6	15	50
9.	Dinitrotoluol; 2,6- R ³⁾	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 ⁵⁾			
11.	Hexogen	121-82-4	100	200	500	500
12.	Hexanitrodiphenylamin (Hexyl) R ³⁾	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 ⁵⁾			
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 ⁵⁾			
16.	Trinitrotoluol; 2,4,6- R ³⁾	118-96-7	20	40	100	200

³⁾ Da rüstungsspezifische nitroaromatische Stoffe (R) häufig in Stoffgemischen vorkommen und ein ähnliches Wirkungsspektrum aufweisen, sind Kombinationswirkungen der Nitroaromaten bei Rüstungsaltslasten 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 –“).

⁴⁾ Für kanzerogene Wirkung bei 20 Jahren Arbeitszeit (bei längeren Arbeitszeiten entsprechend niedriger)

⁵⁾ g/kg -Bereich

2. Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe - Bodenfeststoffwerte

Zum Wertebegriff und zur Bedeutung

Die Berechnungen der orientierenden 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.

Das für flüchtige Stoffe entwickelte neue Szenario beschreibt unter bestimmten, bisher nicht festgelegten Expositionsannahmen den Übergang von Schadstoffen über die Bodenluft in Gebäude hinein und die Anreicherung in geschlossenen Räumen. 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 im PBA als ‚orientierende Hinweise auf Prüfwerte‘ bezeichnet. Um das unterschiedliche Wertenniveau noch deutlicher zu machen, wird hier ausschließlich der Begriff ‚**orientierende Hinweise** für flüchtige Stoffe‘ verwendet.

Es wird darauf hingewiesen, dass die ergänzenden Ableitungsmethoden und -maßstäbe für flüchtige Stoffe zu orientierenden Hinweisen 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.

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

Hinweis: Korrespondierende Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft sind unter Berücksichtigung einer Kappungsgrenze in Tabelle 5 aufgeführt.

Zur Ableitung

In der Tabelle **Orientierende Hinweise 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 siehe „Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1999).

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

Für den Transfer Bodenluft -> Kellerinnenraumluft wird ein Transferfaktor von 1:1000 zu Grunde gelegt, der für viele Fälle als ausreichend konservativ beschrieben wird. Das heißt, es wird davon ausgegangen, dass sich die (Schadstoff)-Konzentration beim Übergang in die Innenraumluft um den Faktor 1000 verdünnt. Zu beachten ist, dass dieser Transferfaktor im Einzelfall bei sehr ungünstigen Bedingungen niedriger liegen kann (z.B. 1:200), was dann zu einer Risikounterschätzung führen würde. Er kann aber auch – je nach Bausubstanz – deutlich höher liegen (z.B. 1:10000). Die Anwendung der Werte für die flüchtigen Stoffe bedarf der Einzelfallprüfung.

Bei der Bewertung eines möglichen Übergangs von Schadstoffen des Bodens über die Bodenluft in die Raumluft ist zu beachten, dass die gemessenen Werte und die verwendeten Faktoren nur Größenordnungen darstellen können.

Zur Untersuchung

Bei flüchtigen Stoffen ist zu berücksichtigen, dass das entnommene Probenmaterial möglichst repräsentativ für den zu bewertenden Bodenbereich sein muss; im Zusammenhang mit dem Expositionspfad „Anreicherung in geschlossenen Räumen“ bedeutet dies, dass das Bodenmaterial aus dem möglichen Kontaminationsbereich, in der dem Übertritt von Bodenluft in Innenraumluft entsprechenden Tiefe (ggf. tiefer) entnommen werden 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 für flüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen) bei Untersuchungen des Bodenfeststoffes

	Stoffe	Chemical Abstracts Services-Nr.	Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe im Feststoff in [mg/kg TM]	
			Wohngebiete	Industrie- u. Gewerbegrundstücke
17.	Benzin	8006-61-9	- ⁶⁾	- ⁶⁾
18.	Benzol	71-43-2	0,1 ⁷⁾	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; o-	95-50-1	450 ^G	unpraktikabel hoch
23.	Dichlorbenzol; m-	541-73-1	200 ^G (entspr. p-Dichlorbenzol)	unpraktikabel hoch
24.	Dichlorbenzol; p-	106-46-7	200 ^G	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	4500 ^G (ggf. oral *)	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.	Xylol	1330-20-7	10	100

^G Anmerkung: Bei den mit ^G bezeichneten Stoffen sind - auch bei Unterschreitung der Orientierenden Hinweise - in Gebäuden Geruchswahrnehmungen möglich. Es ist ratsam, Messungen der Schadstoffe in der Bodenluft durchzuführen und gemäß den Anmerkungen zu Tabelle 5 auch Einschätzungen bezüglich geruchlicher Belästigungen durchzuführen. Ggf. ist über den Boden-Bodenluft-Verteilungskoeffizienten (Kas, siehe PBA ¹⁾) und einen geeigneten Transferfaktor auch ein Vergleich der Schadstoffgehalte im Feststoff mit den Geruchsschwellen sinnvoll.

* Für die langfristige orale Aufnahme von Phenol liegt kein TRD-Wert vor. Mit Bezug auf Daten zur kurzfristigen oralen Exposition und im Vergleich zu der Ableitung von Prüfwerten für den Direktpfad von PCP sollte jedoch bei Überschreitung von 1000 mg/kg Phenol im Oberboden bei Wohngebieten auch die Gefährdung durch orale Bodenaufnahme geprüft werden (siehe PBA ¹⁾, H 767).

⁶⁾ 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.

⁷⁾ 0,1 mg/kg entspricht der Bestimmungsgrenze. Das Bestimmungsverfahren (nach Überschichtung der Probe mit Lösungsmittel im Feld und gemäß DIN ISO 22155-Extraktion mit Methanol und Headspace – GC-MSD) für diesen Konzentrationsbereich ist validiert (Ringversuche 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).

3. Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte für Explosivstoffe und deren Abbauprodukte

Bei diesen Stoffen ist es auf Grund der eingeschränkten 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.

Bei den Stoffen nach **Tabelle 3** handelt es sich um Nitroaromaten, für die die unter Fußnote ³⁾ aufgeführte Summenwirkung entsprechend zu berücksichtigen ist.

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

	Stoffe	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 ^{*)} G	unpraktikabel hoch	
45.	Nitrotoluol; 4-	99-99-0	-	250 ^{*)} G	-	3000 ^{*)}
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

^{*)} Auf Grundlage der ergänzenden Ableitungsmethoden und -maßstäbe für flüchtige Stoffe (Teil 2a PBA); siehe auch Ausführungen zu ‚Flüchtige Stoffe‘ und Anmerkung ^G zu Tabelle 2

4. Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte 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.

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

Allen drei Szenarien ist gemein, dass nach Eingriffen in den Boden (Erdbewegungen, 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 Erdbewegungen zu erwarten.

Eine Zuordnung zu einer der in 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 ungünstigster austauscharmer Wetterlage (geringer Transferfaktor Bodenluft - Außenluft) bzw. von einer erhöhten Staubkonzentration von 6 mg/m^3 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. Im 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 Einzelfallprüfungen bei chemischen Kampfstoffen und deren Abbauprodukten:

	Stoffe	Chemical Abstracts Services-Nr.	Orientierungswert [mg/kg TM]	Bemerkungen
48	S-Lost	505-60-2	0,5	hohe akute Toxizität, Luft ⁸⁾
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 ⁹⁾	76-06-2	0,3	akute Reizwirkung, Luft
54	Chloracetophenon ⁹⁾	1341-24-8	3	akute Reizwirkung, Luft
55	Acetophenon	98-86-2	- ^G	geringe Toxizität, toxikologische Ableitung 18 g/kg zu ^G : siehe Anmerkungen zu Tabelle 2 und 5
56	Clark I ⁹⁾	712-48-1	5	hohe akute Toxizität, Staub; Luft wäre 3 mg/kg ¹⁰⁾
57	Clark II ⁹⁾	23525-22-6	1	hohe akute Toxizität, Staub
58	Adamsit ⁹⁾	578-94-9	2	hohe akute Toxizität, Staub
59	Pfiffikus ⁹⁾	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 ⁹⁾	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

⁸⁾ 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.

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

¹⁰⁾ Es ist fraglich, ob im Boden vorliegendes Clark I in einem den 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.

massive Verunreinigungen gewertet wurde. Bei einer solchen Größenordnung von Schadstoffen in der Bodenluft ist ggf. das Vorhandensein von Begleitsubstanzen (z. B. Verunreinigung mit diversen Lösungsmitteln) oder die Verteilung der Schadstoffe (ggf. Phasen) zu prüfen. Die Höhe der Kappungsgrenze orientiert sich auch an umweltmedizinischen Zielen (mit einem gefahrenverknüpfenden Faktor)¹¹.

In der Bemerkungsspalte wird auf die **Geruchsschwellen** einzelner Stoffe verwiesen. Soweit die abgeleiteten Konzentrationen 30% des geometrischen Mittels der in der Literatur genannten Geruchsschwellen¹² *1000 (Transferfaktor) überschritten, wurde der Stoff als geruchsproblematisch eingeschätzt. Bei diesen Stoffen wurden die Geruchsschwellen nach DIN 13725 ermittelt (NRW 2008)¹³. Die Ergebnisse dieser Geruchsschwellenbestimmung (Mittelwerte) und entsprechende Bodenluftkonzentrationen sind in der Bemerkungsspalte aufgeführt. Im angegebenen Bereich kann es (bei klimatisch bedingt variablen Transferfaktoren von 1:300-1:3000) zu - ggf. kurzfristigen - geruchlichen Belästigungen im Innenraum kommen. Bei Überschreitung der oberen Schwelle des Konzentrationsbereiches sind (je nach Bausubstanz und sonstigen Randbedingungen des Einzelfalls) auch häufige geruchliche Belästigungen im Winterhalbjahr möglich. Die Bewertung solcher potentiellen Belästigungen bezüglich ihrer Erheblichkeit ist auch mit den zuständigen Gesundheitsbehörden abzustimmen.

Hinweis: Es wurden für 10 Substanzen Geruchsschwellen nach DIN 13725 ermittelt. Bei den Stoffen, die nach der durchgeführten Literaturlauswertung nicht als geruchsproblematisch eingeschätzt wurden, ist in der Tabelle keine Bemerkung oder Literaturangabe bezüglich des Geruchs aufgeführt, da Literaturangaben teils erhebliche Schwankungen (über Größenordnungen) aufweisen. Es ist zu beachten, dass auch bei diesen nicht als geruchsproblematisch eingestuften Stoffen geruchliche Belästigungen möglich sind. Dies ist insbesondere dann wahrscheinlich, wenn eine Geruchsschwellenbestimmung nach DIN 13725 zu deutlich niedrigeren Werten als die (bisherigen) Angaben der Literaturlauswertung führen würde.

¹¹ Eine ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene der Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamtinnen und -beamten der Länder (AGLMB) hat als langfristiges Ziel vorgeschlagen, stoffunabhängig einen Konzentrationsbereich von 200-300 µg/m³ für die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) in der Innenraumluft zu erreichen. Unter Verwendung eines Transferfaktors von 1:1000 und einem ‚gefahrenverknüpfenden‘ Faktor von 5 entspricht dies einer Bodenluftkonzentration von 1000 – 1500 mg/m³. Die Untergrenze dieses Bereichs von 1000 mg/m³ wurde als Kappungsgrenze gewählt.

¹² Daten aus: <http://hazmap.nlm.nih.gov> und nach Brauer L., Gefahrstoffsensorik, Ecomed-Verlag, 1988

¹³ F. Müller & Dr. R. Both: Ermittlung von Geruchsschwellen für flüchtige Stoffe bei Altlasten, LANUV NRW, Juni 2008

Tabelle 5: Orientierende Hinweise (stoffbezogene Berechnungen) für flüchtige Stoffe in der Bodenluft – **Bei Anwendung vorstehende Erläuterungen beachten!**

Stoffe	Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe in der Bodenluft in	
	[mg/m ³]	Bemerkung
Acetophenon	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 20 g/m ³ ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 0,041 mg/m ³ -> entspr. 10-100 mg/m³ in der Bodenluft
Benzol	10	
Chlorbenzol	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 1500 mg/m ³ ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 0,025 mg/m ³ -> entspr. 10-100 mg/m³ in der Bodenluft
Chloroform	2	
o-Dichlorbenzol	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 10 g/m ³ ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich:: Geruchsschwelle: 0,067 mg/m ³ -> entspr. 20-200 mg/m³ in der Bodenluft
m-Dichlorbenzol	1000	Kappungsgrenze; entspr. o-Dichlorbenzol
p-Dichlorbenzol	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 6,5 g/m ³ ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 0,025 mg/m ³ -> entspr. 10-100 mg/m³ in der Bodenluft
'cis' 1,2-Dichlorethen	900	
Dichlormethan	80	
1,2-Dichlorpropan	150	
Ethylbenzol	200	
Naphthalin	10	
Nitrobenzol	1	
3-Nitrotoluol	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 1500 mg/m ³ ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 0,062 mg/m ³ -> entspr. 20-200 mg/m³ in der Bodenluft
4-Nitrotoluol	250	ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 0,084 mg/m ³ -> entspr. 25-250 mg/m³ in der Bodenluft
Phenol	200	ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 0,271 mg/m ³ -> entspr. 80-800 mg/m³ in der Bodenluft
Styrol	100	ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 0,09 mg/m ³ -> entspr. 30-300 mg/m³ in der Bodenluft
1,1,2,2-Tetrachlorethan	1	
Tetrachlorethen (PER)	70	
Tetrachlormethan	3	
Toluol	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 2500 mg/m ³
1,2,4-Trichlorbenzol	70	
1,1,1-Trichlorethan	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 22 g/m ³
Trichlorethen (TRI)	20	
1,3,5-Trimethylbenzol(e)	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 2200 mg/m ³ ; ggf. sind bei höheren Konzentrationen geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 1,577 mg/m ³ -> entspr. 4500-45000 mg/m³ in der Bodenluft
Vinylchlorid (VC)	4	
Xylole	1000	Kappungsgrenze; toxikologische Ableitung: 4 g/m ³ ggf. sind geruchliche Belästigungen möglich: Geruchsschwelle: 0,055 mg/m ³ -> entspr. 15-150 mg/m³ in der Bodenluft

6. Hinweise zur Bestimmung der Schadstoffe im Bodenmaterial

Angaben 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 HNO₃.

	Stoffe	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)	Photometrie	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) ¹⁴⁾
		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	¹⁵⁾	
11	Hexogen	¹⁵⁾	
12	Hexanitrodiphenylamin (Hexyl)	¹⁵⁾	
13	Nitropenta (PETN)	¹⁵⁾	
14	Oktogen (HMX)	¹⁵⁾	
15	Trinitrobenzol; 1,3,5-	Siehe Analyseverfahren zu 8	
16	Trinitrotoluol; 2,4,6-	Siehe Analyseverfahren zu 8	

¹⁴⁾ TI-Bestimmung ausschließlich nach HNO₃-Aufschluss; bei Königswasserauszug Minderbefunde durch schwerlösliches Thallium(I)chlorid.

¹⁵⁾ 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.

Angaben zu Tabelle 2: Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe

	Stoffe	Analysenverfahren
17	Benzin	Siehe Analyseverfahren zu 18
18	Benzol	DIN ISO 22155:2006-7 "Gas chromatographic quantitative determination of volatile aromatic and halogenated hydrocarbons and selected ethers — Static headspace method". „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; das Extraktionsmittel ist bereits vor der Probennahme in die Probengefäße vorzulegen, so dass eine Überschichtung im Feld erfolgt; Hinweis zur Probennahme sieh www.hlug.de/altlasten 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	¹⁵⁾
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

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

	Stoffe	Analysenverfahren
37	4-Amino-2,6-dinitrotoluol	Siehe Analyseverfahren zu 8
38	2-Amino-4,6-dinitrotoluol	Siehe Analyseverfahren zu 8
39	Dinitrodiphenylamin; 2,4-	¹⁵⁾
40	Dinitrobenzol; 1,3-	¹⁵⁾
41/42	Nitrodiphenylamin; 2- und 4-	¹⁵⁾
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)	¹⁵⁾
47	Trinitrophenol; 2,4,6- (Pikrinsäure)	¹⁵⁾

Angaben 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 Kampfstoffkontaminierter Rüstungsaltslasten. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1995 (Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis; Bd. 74).

Informationen zur Analytik chemischer 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.

Angaben zu Tabelle 5: Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe in der Bodenluft

Bei der Probennahme und Untersuchung ist VDI 3865, Blatt 1-4 zu berücksichtigen.