

LfU-Merkblatt Altlasten 1

# Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt)

---

LfU-Merkblatt Altlasten 1

# Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt)

---

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg  
Tel.: (0821) 9071-0  
Fax: (0821) 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: <http://www.bayern.de/lfu>

Verfasser: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz,  
Referat „Altlasten und Bodenschutz, Kataster nach Art. 3 BayBodSchG“  
Referat „Umweltqualität“  
ARCADIS Consult GmbH

Stand: Juli 2002

**Zitiervorschlag: Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Merkblatt „Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt)“ – LfU-Merkblatt Altlasten 1, Augsburg, 2002**

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU).

Nachdruck, auch auszugsweise, nur unter Quellenangabe gestattet.

© 2002 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Gedruckt auf Recyclingpapier

---

## **Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINE HINWEISE</b> .....	<b>1</b>
1.1	Zielsetzung und Anwendungsbereich .....	1
1.2	Begriffsbestimmungen .....	2
<b>2</b>	<b>BEWERTUNGSGRUNDLAGEN</b> .....	<b>4</b>
2.1	Prüf- und Maßnahmenwerte .....	4
2.2	Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte .....	4
<b>3</b>	<b>ORIENTIERENDE UNTERSUCHUNG: HINWEISE ZUR NUTZUNGSBEZOGENEN UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG</b> .....	<b>6</b>
3.1	Vorbemerkungen zur nutzungsbezogenen Untersuchungs- und Bewertungsstrategie .....	6
3.2	Kinderspielflächen .....	8
3.3	Wohngebiete .....	9
3.4	Park- und Freizeitanlagen .....	10
3.5	Industrie- und Gewerbegrundstücke .....	11
<b>4</b>	<b>DETAILUNTERSUCHUNG</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>SYNOPTISCHE BEWERTUNG VON ZWEI WIRKUNGSPFADEN</b> .....	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>17</b>
<b>ANHANG A PRÜFWERTE, PRÜFWERTVORSCHLÄGE UND MAßNAHMENWERTE (TABELLEN)</b> .....		<b>I</b>
<b>ANHANG B ABLEITUNG VON PRÜFWERTEN</b> .....		<b>VII</b>
<b>B-1</b>	<b>Grundsätzliches</b> .....	<b>IX</b>
<b>B-2</b>	<b>Wirkungspfad Boden – Mensch</b> .....	<b>IX</b>
B-2.1	Humantoxikologische Bewertungsmaßstäbe .....	IX
B-2.2	Bewertungsmaßstab für krebserzeugende Stoffe .....	X
B-2.3	Annahmen zur Resorption und zur Hintergrundbelastung/Ausschöpfungsquote .....	X
B-2.4	Gefahrenbezug .....	XI
B-2.5	Sicherheitsfaktoren .....	XII
B-2.6	Expositionsannahmen im Rahmen der Prüfwertableitung .....	XII
B-2.7	Stoffspezifische Festlegungen .....	XV
B-2.8	Vorgehen bei der Ableitung von Prüfwerten .....	XVI
B-2.9	Kriterien für die Plausibilitätsbetrachtung der rechnerischen Ergebnisse der Prüfwertableitung .....	XVIII
B-2.10	Maßnahmenwerte für die direkte Aufnahme von Dioxinen/Furanen .....	XIX
B-2.11	Kombinationswirkungen .....	XIX

<b>ANHANG C: ZUSAMMENSTELLUNG DER FORMELN ZUR PRÜFWERTBERECHNUNG (NACH BUNDESANZEIGER NR. 161A [9]) FÜR DEN WIRKUNGSPFAD BODEN - MENSCH.....</b>	<b>XXI</b>
<b>C-1 Orale Bodenaufnahme auf Kinderspielplätzen, in Wohngebieten und Park- und Freizeitanlagen.....</b>	<b>XXIII</b>
C-1.1 Prüfwert für nicht kanzerogene Wirkungen .....	XXIII
C-1.2 Prüfwert für kanzerogene Wirkungen.....	XXIII
<b>C-2 Inhalative Bodenaufnahme auf Kinderspielflächen, in Wohngebieten und Park- und Freizeitanlagen.....</b>	<b>XXIV</b>
C-2.1 Prüfwert für systemische Wirkungen bei nichtkanzerogenen Stoffen .....	XXIV
C-2.2 Prüfwert für lokale Wirkungen bei respirationstoxischen Stoffen (nichtkanzerogen) ....	XXIV
C-2.3 Prüfwert für systemische Wirkungen bei kanzerogenen Stoffen .....	XXIV
C-2.4 Prüfwert für lokale Wirkungen bei respirationstoxischen Stoffen (kanzerogen) .....	XXIV
<b>C-3 Inhalative Bodenaufnahme auf Industrie- und Gewerbeflächen .....</b>	<b>XXV</b>
C-3.1 Prüfwert für systemische Wirkung bei nichtkanzerogenen Stoffen .....	XXV
C-3.2 Prüfwert für lokale Wirkung bei respirationstoxischen Stoffen (nichtkanzerogen) .....	XXV
C-3.3 Prüfwert für systemische Wirkung und lokale Wirkungen bei kanzerogenen Stoffen ....	XXV
<b>C-4 Dermaler Bodenkontakt und perkutane Aufnahme.....</b>	<b>XXV</b>
<b>C-5 Erläuterungen zu den Formeln .....</b>	<b>XXV</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nutzungsorientierte Beprobungstiefen bei Untersuchungen zu den Wirkungspfaden Boden-Mensch und Boden-Pflanze.....	7
Tabelle A-1a: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt).....	III
Tabelle A-1b: Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt) für anorganische Stoffe .....	IV
Tabelle A-1c: Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt) für organische Stoffe.....	IV
Tabelle A-1d: Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt) für rüstungsspezifische Stoffe.....	V
Tabelle A-2: Maßnahmenwerte Wirkungspfad Boden - Mensch für die direkte Aufnahme von Dioxinen/Furanen.....	V
Tabelle B-1: Nutzungsabhängige Expositionspfade.....	XIII
Tabelle B-2: Expositionsannahmen für orale Bodenaufnahme.....	XIII
Tabelle B-3: Expositionsannahmen für inhalative Bodenaufnahme für Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen.....	XIV
Tabelle B-4: Expositionsannahmen für inhalative Bodenaufnahme auf Industrie- und Gewerbe- grundstücken.....	XIV

# 1 Allgemeine Hinweise

## 1.1 Zielsetzung und Anwendungsbereich

Dieses Merkblatt gibt Hinweise für die Untersuchung und Bewertung des Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) bei altlastverdächtigen Flächen, Altlasten, Verdachtsflächen und stofflichen schädlichen Bodenveränderungen. Im Folgenden werden diese Flächen stets verkürzt als Altlasten und schädliche Bodenveränderungen bezeichnet. Damit werden in fachlicher Hinsicht die Vorgaben des BBodSchG [1], der BBodSchV [2], des BayBodSchG [3] und der BayBodSchVwV [4] für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) konkretisiert. Die Wirkungspfade Boden-Gewässer und Boden-Pflanze sind nicht Gegenstand dieses Merkblatts.

Für die Untersuchung flüchtiger Schadstoffe gemäß § 3 Abs. 6 BBodSchV und die Untersuchung von Deponiegas bei Altablagerungen (vgl. Anhang 1 Nr. 1.1 BBodSchV) sind zusätzlich die Anforderungen des LfU-Merkblatts Altlasten 2 „Untersuchung und Bewertung von flüchtigen Stoffen bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Pfad Luft)“ [5] zu beachten.

Bei der Ausweisung und Überplanung von Flächen im Rahmen der Bauleitplanung müssen gemäß § 1 Abs. 5 Nr. 1 Baugesetzbuch (BauGB) [6] insbesondere die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse und die Sicherheit der Wohnbevölkerung gewahrt bleiben und die Belange des Bodenschutzes berücksichtigt werden. Ob dies für eine Fläche zutrifft, ist im Wege einer einzelfallbezogenen Sachverhaltsermittlung festzustellen. Dabei wird die Unterschreitung der Prüfwerte der BBodSchV dem Anspruch nach "gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnissen" i.S.d. § 1 Abs. 5 Nr. 1 BauGB am Ehesten gerecht. Die Untersuchung und Bewertung im Rahmen der Bauleitplanung orientiert sich im Wesentlichen an den materiellen Anforderungen des Bodenschutzrechts und wird in Handlungsempfehlungen des StMI detailliert erläutert [7].

In Bayern ist die Vorgehensweise zur Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen im Vollzug des Bodenschutzrechts in der Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern (BayBodSchVwV) [4] festgelegt. Die folgenden Hinweise beziehen sich auf die Bearbeitungsphasen orientierende Untersuchung (BayBodSchVwV Nr. 4.1.1.4) und Detailuntersuchung (BayBodSchVwV Nr. 4.1.2.2). Beim Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) beteiligt die Kreisverwaltungsbehörde die Gesundheitsverwaltung. Im Rahmen der orientierenden Untersuchung führt das Wasserwirtschaftsamt die erforderlichen Untersuchungen für die Gesundheitsverwaltung in Amtshilfe durch. Im Rahmen der Detailuntersuchung werden i.d.R. nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige mit dieser Aufgabe befasst. Die Zulassung kann seit dem 01.01.2002 nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbehandlung in Bayern (VSU Boden und Altlasten) [8] erfolgen.

Die Ergebnisse der orientierenden Untersuchung und Detailuntersuchung sind u.a. im Hinblick auf eine mögliche Gefährdung der menschlichen Gesundheit zu bewerten [2]. Dies erfolgt unter Beachtung der Gegebenheiten des Einzelfalls insbesondere auch anhand von Prüfwerten.

Die gemäß § 8 BBodSchG für bestimmte Stoffe festgelegten Werte sind in Anhang 2 der BBodSchV [2] zusammengefasst. Für die Bewertung weiterer Stoffe sollen gemäß § 4 Abs. 5 BBodSchV die im Bundesanzeiger (BAZ) Nr. 161a vom 28. August 1999 [9] beschriebenen Methoden und Maßstäbe beachtet werden. Das vorliegende Merkblatt stellt Prüfwerte und ihre Ableitung dar und erläutert ihre Anwendung unter Berücksichtigung der Nutzungsszenarien, der Expositionssannahmen und der toxikologischen Stoffdaten.

In Kapitel 2 dieses Merkblatts werden die Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) vorgestellt und das weitere Vorgehen bei Überschreitung der Werte erläutert. In Kapitel 3 werden die Anforderungen an die nutzungsbezogene Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen im Rahmen der orientierenden Untersuchung dargestellt. In Kapitel 4 werden Hinweise zur weiteren Sachverhaltsermittlung im Rahmen der Detailuntersuchung gegeben, die sich aus der Überschreitung von Prüfwerten bei der vorangegangenen orientierenden Untersuchung ergeben. In Kapitel 5 wird kurz die synoptische Bewertung des Wirkungspfad Boden-Mensch und Boden-Pflanze im Szenario „Wohngarten“ skizziert.

Anhang A enthält für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) eine tabellarische Darstellung der Prüfwerte gemäß BBodSchV und zusätzlich weitere, nach den Methoden und Maßstäben des Bundesanzeigers Nr. 161a [9] abgeleitete Prüfwertvorschläge, die in Form eines LABO-Informationsblatts [10] als Arbeitshilfe für den Vollzug zur Verfügung stehen (vgl. auch Veröffentlichungen des Umweltbundesamts [11]). In Anhang B ist die im Bundesanzeiger Nr. 161a vorgegebene Verfahrensweise bei der Ableitung von Prüfwerten dargestellt. In Anhang C sind die entsprechenden Formeln zur Prüfwertberechnung zusammengestellt.

## 1.2 Begriffsbestimmungen

- **Altlasten**  
Der Altlastenbegriff ist in § 2 Abs. 5 BBodSchG [1] definiert.
- **Maßnahmenwerte**  
sind nach § 8 BBodSchG Werte für Einwirkungen oder Belastungen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind.
- **Orientierende Hinweise auf Prüfwerte**  
sind Werte, die nach den Methoden und Maßstäben des Bundesanzeigers Nr. 161a [9] abgeleitet wurden, die aber nicht die gleiche rechtliche Verbindlichkeit haben wie die Prüfwerte nach BBodSchV. Einschränkungen bei der Belastbarkeit dieser orientierenden Hinweise auf Prüfwerte ergeben sich aus der eingeschränkten Datenbasis bzw. aus Unsicherheiten bei der Transferabschätzung bei den flüchtigen Stoffen.
- **Prüfwerte**  
sind nach § 8 BBodSchG Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt.
- **Prüfwertvorschläge**  
umfassen die „vorläufigen Prüfwerte“ und „orientierenden Hinweise auf Prüfwerte“. Sie werden bis zur Ergänzung der BBodSchV als Prüfwertvorschläge zusammengefasst.  
*Anmerkung:* Im Folgenden wird der Begriff „Prüfwerte“ aus Gründen der Vereinfachung verkürzt auch für „Prüfwertvorschläge“ verwendet, wenn auf die Tabellen A-1a, b, c, d Bezug genommen wird.
- **Resorption**  
Aufnahme von Stoffen über die Haut oder Schleimhaut (Magen-Darm-Trakt, Atmungsorgane) in den Körper (Blut, Lymphe, Gewebe).

- **Resorbierter Anteil**  
Charakterisiert jenen Anteil an der Gesamtkonzentration eines (Schad)Stoffes, der tatsächlich in den Körper aufgenommen wurde.
- **Resorptionsverfügbarkeit**  
Stoffeigenschaft – sie kennzeichnet jenen Anteil an der Gesamtkonzentration eines (Schad)Stoffes, der für den Resorptionsvorgang verfügbar ist. Bodenbestandteile können die Resorptionsverfügbarkeit beeinflussen, wobei in der Regel mit einer Verringerung zu rechnen ist (z.B. Schadstoff-Adsorption an Bodenpartikel), unter Umständen aber auch mit einer Erhöhung (z.B. Bodeninhaltsstoffe als Schadstoff-„Vehikel“).
- **Schutzgut**  
durch Gesetz bzw. Rechtsverordnung geschützte Güter des Einzelnen (z.B. Gesundheit des Menschen) und der Allgemeinheit (z.B. Reinheit des Grundwassers).
- **Vorläufige Prüfwerte**  
sind Werte, die nach den Methoden und Maßstäben des Bundesanzeigers Nr. 161a [9] abgeleitet und von der LABO als Informationsblatt für den Vollzug „Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten“ (Stand 20.03.2002) [10] den Ländern als Orientierungshilfe zur Verfügung gestellt wurden, die aber nicht die gleiche rechtliche Verbindlichkeit haben wie die Prüfwerte nach BBodSchV. Die zur Verfügung stehende Datenbasis war bei den entsprechenden Stoffen im Vergleich zu den „orientierenden Hinweisen auf Prüfwerte“ besser.
- **Wirkungspfad**  
Weg eines Schadstoffs von der Schadstoffquelle bis zum Ort einer möglichen Wirkung auf ein Schutzgut (§ 2 Nr. 8 BBodSchV).

Weitere Begriffe sind im BBodSchG und in der BBodSchV erläutert.

## 2 Bewertungsgrundlagen

### 2.1 Prüf- und Maßnahmenwerte

Die Bewertung von Grundstücken mit Bodenverunreinigungen hinsichtlich des Wirkungspfades Boden - Mensch (direkter Kontakt) erfolgt vor allem mit den Prüfwerten nach Anhang 2 BBodSchV (siehe Anhang A, Tabelle A-1a), differenziert nach ihrer tatsächlichen und ihrer planungsrechtlich zulässigen Nutzung bzw. der Prägung des Gebiets unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung. Hinweise zur nutzungsbezogenen Untersuchung und Bewertung sind in Abschnitt 2.2 und Kapitel 3 zu finden; die Maßstäbe für die Herleitung dieser Prüfwerte sind kurzgefasst im Anhang B, ausführlich in [9] dargestellt.

Ergänzend zu diesen Werten werden vom Altlastenausschuss der LABO Prüfwertvorschläge für nicht in der BBodSchV berücksichtigte Stoffe und Stoffgruppen empfohlen [10]. Sie sind in den Tabellen A-1b, c, d aufgeführt. Diese Prüfwertvorschläge wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes abgeleitet und sind mit ihrer ausführlichen Ableitung in [11] veröffentlicht.

Sind bei einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast Stoffe zu beurteilen, für die weder Prüfwerte in Anhang 2 BBodSchV noch Prüfwertvorschläge in [11] vorliegen, so ist Folgendes zu beachten:

Solange es keinen umfassenden Katalog von Prüfwerten gibt, die nach der gefahrenbezogenen Methodik abgeleitet sind, kann bei noch nicht berücksichtigten Stoffen das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) Ansprechpartner für die bayerischen Behörden sein. Das LfU erstellt gemäß Nr. 3.2.2 BayBodSchVwV die fachlichen Grundlagen für den Pfad Boden - Mensch (direkter Kontakt). Basis dafür sind gemäß § 4 Abs. 5 BBodSchV die in [9] festgelegten Methoden und Maßstäbe; die toxikologischen Basisdaten sind für viele Stoffe bereits in [12] erfasst.

Die Erstellung der Bewertungsgrundlagen ist mit einem erheblichen Arbeits- und Zeitaufwand verbunden. Um Verzögerungen bei der Altlastenbearbeitung zu vermeiden, ist das LfU frühzeitig in Kenntnis zu setzen, wenn sich abzeichnet, dass in einem Einzelfall Stoffe bedeutsam werden, für die in Anhang A keine Prüfwerte oder Prüfwertvorschläge vorliegen.

Maßnahmenwerte sind in der BBodSchV nur für polychlorierte Dibenz-p-dioxine und Dibenzofurane enthalten ("Dioxine/Furane", PCDD/F, siehe Anhang A, Tabelle A-2). Die Einführung dieser Werte erfolgte aus vollzugstechnischen Gründen [9].

### 2.2 Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte

Bei der Ableitung der Prüfwerte nach Anhang 2 BBodSchV wurde die Exposition so bemessen, dass „im ungünstigsten Expositionsfall“ auf das Vorliegen einer Gefahr geschlossen werden muss. D. h., bei Vorliegen aller der Prüfwertableitung zu Grunde gelegten Annahmen (z. B. Aufenthaltsdauer, Bodenaufnahme, s. Kapitel 4) oder im Einzelfall noch ungünstigerer Rahmenbedingungen ist bei Überschreitung eines Prüfwertes von der Möglichkeit einer Gefährdung des Schutzgutes menschliche Gesundheit auszugehen. Im Einzelfall sind bei Überschreitung der Prüfwerte zur abschließenden Gefährdungsabschätzung weitere Sachverhaltsermittlungen durchzuführen (Kapitel 4 und 5).



Bei Überschreitung der Maßnahmenwerte für Dioxine/Furane ist i.d.R. von einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung auszugehen und es sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich.

Bei Unterschreitung eines Prüfwerts ist insoweit der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt (§ 4 Abs. 2 Satz 1 BBodSchV). Damit sind bei Unterschreitung der Prüfwerte keine weiteren Maßnahmen hinsichtlich dieses Wirkungspfades erforderlich.

Unabhängig davon ist die Möglichkeit einer Gefahr über andere Wirkungspfade zu prüfen. Beispielsweise müssen bei Wohngärten parallel die Wirkungspfade

- Boden - Mensch (direkter Kontakt) und
- Boden - Pflanze

betrachtet werden. Die Kombination dieser beiden Wirkungspfade wird in Kapitel 5 behandelt.

Im Einzelfall können weitere Nutzungen beeinträchtigt sein und deshalb zusätzlich Untersuchungen und Bewertungen erforderlich werden, beispielsweise

- Boden – Trink-/Brauchwasser bei Vorhandensein von Privatbrunnen; ansonsten erfolgt die Prüfung des Wirkungspfades Boden - Grundwasser nutzungsunabhängig,
- Boden - Nutztier (bei Haltung von Kleintieren wie Hühnern oder Enten; Szenario nicht in der BBodSchV enthalten),
- Boden - Mensch und Boden-Bodenluft-Mensch bei Tiefbaumaßnahmen [5].

In Anhang 2 Tabelle 1 BBodSchV sind verschiedene Nutzungen (Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen, Industrie- und Gewerbegrundstücke) ausgewiesen, für die anhand standardisierter Szenarien jeweils Prüfwerte angegeben werden. Bei der Zuordnung einer Nutzung zu einem bestimmten Szenario ist gemäß Nr. 2.1 BAnz Nr. 161a [9] Folgendes zu beachten: liegt innerhalb einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche auf Teilflächen eine von der vorherrschenden Nutzung abweichende, empfindlichere Nutzung vor, sind diese Teilflächen nach den für ihre Nutzung jeweils festgesetzten Maßstäben zu bewerten (z. B. Teilbereich Kinderspielfläche in einem Wohngebiet oder Hausmeisterwohnung mit Garten im Gewerbegebiet).

Bei der Bewertung von altlastverdächtigen Flächen bzw. Verdachtsflächen ist die planungsrechtlich zulässige Nutzung des Grundstücks und das sich daraus ergebende Schutzbedürfnis zu beachten. Fehlen planungsrechtliche Festsetzungen, bestimmt die Prägung des Gebiets unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung das Schutzbedürfnis (vgl. auch § 4 Abs. 4 BBodSchG). Zu denken wäre in diesem Zusammenhang z.B. an einen Wechsel der Besitzer, die Neugestaltung eines Wohngartens oder die Entfernung von Nebengebäuden im Hinterhof. Dies bedeutet, dass im Sinne einer konservativen („auf der sicheren Seite liegenden“) Bewertung gegenüber dem Status quo veränderte Bedingungen (anderer Bewuchs, geringerer Versiegelungsgrad, neue Nutzung zum Nahrungspflanzenanbau, andere Altersgruppen wie Bewohner mit Kindern an Stelle der bisherigen älteren Personen usw.) nicht ausgeschlossen werden dürfen, sofern diese planungsrechtlich zulässig wären. Anderenfalls könnte durch eine solche zulässige Veränderung unmittelbar ein bis dahin nicht gegebener Gefahrentatbestand entstehen.

### 3 Orientierende Untersuchung

Bestehen Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung, so nimmt die Kreisverwaltungsbehörde zunächst die Erhebung vor und veranlasst die katastermäßige Erfassung der Altlastverdachtsfläche beim LfU. In einem nächsten Schritt prüft die Kreisverwaltungsbehörde im Rahmen der historischen Erkundung, ob sich der Anfangsverdacht erhärtet. Auf Grundlage der fachlich geprüften Ergebnisse der historischen Erkundung ist dann eine orientierende Untersuchung durchzuführen. Bei der Planung und Bewertung der orientierenden Untersuchung für den Wirkungspfad Boden-Mensch beteiligt die Kreisverwaltungsbehörde gemäß Nr. 4.1.1.4 BayBodSchVwV die Gesundheitsverwaltung. Das Wasserwirtschaftsamt führt diese Untersuchungen in Amtshilfe durch.

#### 3.1 Vorbemerkungen zur nutzungsbezogenen Untersuchungs- und Bewertungsstrategie

Zweck der orientierenden Untersuchung ist nach § 2 Nr. 3 BBodSchV die Feststellung, ob der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt ist oder ein hinreichender Verdacht im Sinne des § 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG besteht (s. auch Nr. 4.1.1.4 BayBodSchVwV). Bei der orientierenden Untersuchung muss diese Zielsetzung berücksichtigt werden. Die orientierende Untersuchung umfasst folgende Schritte:

- Durchführen einer gemeinsamen Ortseinsicht (Kreisverwaltungsbehörde, Gesundheitsverwaltung, Wasserwirtschaftsamt, ggf. weitere Fachbehörden, ggf. beauftragter Sachverständiger),
- Planen von Untersuchungen auf der Grundlage der historischen Erkundung (z.B. Festlegen der Untersuchungsmethodik, der Probennahmepunkte, des Analysenumfangs),
- Durchführen von Untersuchungen
- Darstellen und Bewerten der Untersuchungsergebnisse
- Treffen einer Aussage, ob der hinreichende Verdacht erhärtet oder ausgeräumt ist.

Das Vorgehen bei der Probennahme im Rahmen der orientierenden Untersuchung richtet sich insbesondere nach den im Einzelfall berührten Wirkungspfaden, der Flächengröße, der auf Grund der Erfassungsergebnisse vermuteten vertikalen und horizontalen Verteilung der Schadstoffe sowie der gegenwärtigen, der planungsrechtlich zulässigen und der früheren Nutzung (Anh. 1 Nr. 2 BBodSchV). Auf Grundlage dieser Rahmenbedingungen wird eine Untersuchungsstrategie festgelegt (vgl. auch [13]).

Wesentliche Bestandteile der Untersuchungsstrategie sind der Beprobungsplan und das Analysenkonzept. Der Beprobungsplan soll die Beprobungsmedien (in diesem Fall der Boden), die horizontale und vertikale Anordnung der Beprobungspunkte, die Probenanzahl, die Untersuchungsparameter und den Arbeitsschutz berücksichtigen.

Im Folgenden werden einige wesentliche Punkte des Beprobungsplans mit Schwerpunkt nutzungsbezogene Beprobung für den Wirkungspfad Boden-Mensch dargestellt; ausführlicher wird die Planung und Durchführung der Beprobung in einem gesonderten LfU/LfW-Merkblatt „Entnahme von Boden- und Bodenluftproben“ [14] behandelt.

Die **horizontale Anordnung der Probennahmepunkte** richtet sich nach der aus den Ergebnissen der historischen Erkundung erwarteten Schadstoffverteilung und nach den betroffenen Schutzgütern. Die Beprobung für den Wirkungspfad Boden-Mensch ist in der Regel in eine Unter-

suchung eingebettet, die auf die Ermittlung der Belastungsbereiche und ggf. auch auf andere Wirkungspfade ausgerichtet ist. Sie sollte dabei alle Bereiche der verschiedenen Nutzungen abdecken, die für diesen Wirkungspfad relevant sind. Im Einzelnen lässt sich folgendes Vorgehen skizzieren:

*Nutzungsunabhängig:*

- Kontaminationsbereiche müssen gezielt beprobt werden. Auf den dazwischenliegenden Flächen sind ebenfalls Beprobungen vorzusehen. Weiterhin kann es erforderlich sein, zur Ermittlung der standortspezifischen Hintergrundgehalte unbelastete Bereiche in der näheren Umgebung zu beproben.
- Die Beprobungspunkte sollten in die wahrscheinlichen Schwerpunkte der vermuteten Kontamination gesetzt werden. Anhaltspunkte für die Anzahl der Beprobungspunkte im Bereich vermuteter Kontaminationsschwerpunkte werden im LfU/LfW-Merkblatt „Entnahme von Boden- und Bodenluftproben“ [14] gegeben.
- Bei diffuser, unregelmäßiger oder unbekannter Belastungsverteilung ist eine Rasterbeprobung vorzusehen.

*Nutzungsabhängig:*

- Die Beprobungsbereiche für eine oberflächennahe, nutzungsbezogene Bodenuntersuchung ergänzen die nutzungsunabhängigen Beprobungen für die Wirkungspfade
  - Boden-Mensch und
  - Boden-Pflanze.

Die in der folgenden Tabelle 1 genannten **beurteilungsrelevanten Bodentiefen** gemäß Anhang 1 Tab. 1 BBodSchV gelten für die planungsrechtlich zulässige Nutzung ggf. unter Berücksichtigung der aktuellen Nutzung.

**Tabelle 1 Nutzungsorientierte Beprobungstiefen bei Untersuchungen zu den Wirkungspfaden Boden-Mensch und Boden-Pflanze**

<b>Nutzung</b>	<b>Beprobungstiefe</b>
Kinderspielfläche	0 - 10 cm <sup>1)</sup>
Wohngebiet	10 - 35 cm <sup>2)</sup>
Park- und Freizeitanlagen	0 - 10 cm <sup>1)</sup>
Industrie- und Gewerbeflächen	0 - 10 cm <sup>1)</sup>
Ackerbau, Nutzgarten	0 - 30 cm <sup>3)</sup> 30 - 60 cm
Grünland	0 - 10 cm <sup>4)</sup> 10 - 30 cm

<sup>1)</sup> Kontaktbereich für orale und dermale Schadstoffaufnahme, zusätzlich 0 - 2 cm bei Relevanz des inhalativen Aufnahmepfads  
<sup>2)</sup> 0 - 35 cm: durchschnittliche Mächtigkeit aufgebracht Bodenschichten, zugleich maximal von Kindern erreichbare Tiefe  
<sup>3)</sup> Bearbeitungshorizont  
<sup>4)</sup> Hauptwurzelbereich

Die Prüfwerte nach den Tabellen A-1a, b, c, d sind nur dann anwendbar, wenn eine qualifizierte Probennahme, Probenbehandlung und Analytik durchgeführt wurden. Näheres hierzu regelt das LfU/LfW-Merkblatt 3.8/5 „Untersuchung von Bodenproben und Eluaten bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Gewässer und Boden-Mensch“ [15]. Die Prüfwerte sind auf die Feinfraktion (< 2 mm) von Proben aus Bodenmaterial oder aus Ablagerungen bezogen.

**Bodenaufschlüsse** für die nutzungsbezogene Probennahme können vor allem mit Handsonden und Kleinrammgeräten erstellt werden. Auch Schürfe oder Rammkernsondierungen sind geeignet, falls das Probenmaterial durch weitere Einstiche (v.a. mit Handsonde) aus der näheren Umgebung des Aufschlusses ergänzt wird.

Bei der nutzungsbezogenen, oberflächennahen Beprobung werden in der Regel **Mischproben** entnommen. Für die Herstellung einer Mischprobe ist jeder Beprobungspunkt der Mittelpunkt der Einstichstellen (10 – 25); damit ist unter einem Beprobungspunkt letztendlich eine Beprobungsteilfläche zu verstehen [13]. Bei Kontaminationsschwerpunkten sollte die Mischprobenbildung deren vermutete Ausdehnung nicht überschreiten.

Die Gewinnung der oberflächennahen Bodenproben kann in einem eigenen Arbeitsgang, sie kann aber auch in Ergänzung einer bereits durchgeführten Rammkernsondierung mittels Sonde erfolgen, sofern sie eine zuverlässige Aussage über die betroffenen Nutzungen erbringt.

Die **Untersuchungsparameter** für die orientierende Untersuchung werden aus der historischen Erkundung abgeleitet. Bei fehlenden Anhaltspunkten können sich aus Anhang 2 BayBodSchVwV, Tabellen 2 und 3 „Branchenspezifische Leitparameter“ Hinweise ergeben. Ausführliche Hinweise finden sich in den Branchenblättern des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (<http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/veroeffentlichungen/verzeichnis/index.htm>) [16]. Für Informationen zur Probenvorbereitung und zu geeigneten Analysenverfahren ist das LfU/LfW-Merkblatt 3.8/5 [15] heranzuziehen.

Sind an allen bekannten Belastungsschwerpunkten oder nach Rasterbeprobung die nutzungsbezogenen Prüfwerte nach den Tabellen A-1a, b, c, d unterschritten, so ist im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt.

Wird auf einem Grundstück im Rahmen der orientierenden Untersuchung die Überschreitung eines nutzungsbezogenen Prüfwerts nach den Tabellen A-1a, b, c, d festgestellt, so ist der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast i.S. des § 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG hinreichend erhärtet. Im Rahmen der Detailuntersuchung sind die notwendigen vertieften Untersuchungen für eine abschließende Gefährdungsabschätzung durchzuführen (Kapitel 4).

### 3.2 Kinderspielflächen

Anhang 2 Nr. 1.1 BBodSchV [2]: „Aufenthaltsbereiche für Kinder, die ortsüblich zum Spielen genutzt werden, ohne den Spielsand von Sandkästen. Amtlich ausgewiesene Kinderspielplätze sind ggf. nach den Maßstäben des öffentlichen Gesundheitswesens zu bewerten“.

Nr. 2.1 BAnz 161a [9]: „Hierunter fallen Aufenthaltsbereiche für Kinder, die ortsüblich zum Spielen genutzt werden, ohne den Spielsand von Sandkästen, der in der Regel gesonderten Regelungen unterliegt. Diese Definition verweist darauf, dass es sich hier um die tatsächlich für das Spielen genutzten Flächen handelt. Die bestimmungsgemäß für das Spielen von Kindern hergerichteten

Flächen (Kinderspielplätze) fallen in diese Kategorie. Im Rahmen der Daseinsvorsorge der öffentlichen Hand gilt bei amtlich ausgewiesenen Kinderspielplätzen eine besondere öffentliche Sorgfalt; insofern sind diese auch nach den Maßstäben des öffentlichen Gesundheitswesens zu bewerten“.

Die Prüfwerte nach den Tabellen A-1a, b, c, d berücksichtigen die orale, inhalative und dermale Bodenaufnahme durch Kleinkinder, die mit Bodenmaterialien spielen. Damit ist für andere, weniger empfindliche Nutzer wie ältere Kinder oder Erwachsene zusätzliche Sicherheit gegeben.

Da Kleinkinder außerhalb des Sandkastens in erster Linie in dessen unmittelbarer Nähe spielen, sollten bei dieser Nutzungsart vorrangig diese Bereiche untersucht werden und mit den Prüfwerten für Kinderspielflächen nach den Tabellen A-1a, b, c, d bewertet werden. Für Bereiche, die von Kindern weniger genutzt werden, können je nach Lage der Fläche die Prüfwerte für Wohngebiete oder für Park- und Freizeitanlagen herangezogen werden.

Zu beurteilen sind bei Kinderspielflächen nach Anhang 1 BBodSchV die Schadstoffgehalte der Bodenschichten 0-10 und 10-35 cm. Liegen Schadstoffe vor, bei denen insbesondere die inhalative Aufnahme gesundheitsrelevant ist (z.B. Cr(VI), Ni), ist gemäß Anhang 1 Nr. 2.1.1 BBodSchV zusätzlich die Bodenschicht 0-2 cm zu beproben. Im Hinblick auf die Staubbildung ist dann die Feinfraktion bis 63 µm zu untersuchen.

### **3.3 Wohngebiete**

Anhang 2, Nr. 1.1 BBodSchV [2]: „Dem Wohnen dienende Gebiete einschließlich Hausgärten oder sonstige Gärten entsprechender Nutzung, auch soweit sie nicht im Sinne der Baunutzungsverordnung planungsrechtlich dargestellt oder festgesetzt sind, ausgenommen Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen sowie befestigte Verkehrsflächen“.

Nr. 2.1 BAnz 161a [9]: „Abgestellt wird auf die dem Wohnen dienenden Gebiete einschließlich Haus- und Kleingärten oder sonstigen Gärten entsprechender Nutzung, auch soweit sie nicht im Sinne der Baunutzungsverordnung planungsrechtlich dargestellt oder festgesetzt sind. Die Baunutzungsverordnung spricht als „Wohngebiete“ unter anderem Kleinsiedlungsgebiete, reine und allgemeine Wohngebiete und Dorfgebiete an. Hier sind Park- und Freizeitanlagen ausgenommen, die als eigene Nutzungskategorie bewertet werden. Soweit unbefestigte Flächen in Wohngebieten als Kinderspielflächen genutzt werden, sind diese als solche zu bewerten. Diese Abgrenzung gegenüber der erstgenannten Nutzungsform ermöglicht es, Teilflächen mit einer von der vorherrschenden Nutzung abweichenden, empfindlicheren Nutzung nach den für ihre Nutzung jeweils festgesetzten Maßstäben zu beurteilen.“

Werden die ebenfalls angesprochenen Hausgärten zum Anbau von Gemüse zum Eigenverzehr genutzt, ist im Einzelfall zu prüfen, ob diese Nutzung eine solche Relevanz hat, dass auch eine Bewertung nach den für den Wirkungspfad Boden - Pflanze vorgegebenen Kriterien erfolgen muss“.

Die Anforderungen an die Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Pflanze werden in einem gesonderten Merkblatt geregelt.

Betroffene Nutzergruppen in Wohngebieten mit Haus- und Kleingärten sind neben Kindern auch Erwachsene, die durch Gartenarbeiten häufig direkten Kontakt mit Boden haben. Maßgebend für die Bewertung wird im Regelfall aber auch hier die orale Bodenaufnahme durch spielende Kleinkinder sein. Weitere Informationen zur synoptischen Bewertung des Szenarios Wohngärten finden sich in Kapitel 5.

Zu beurteilen sind in Wohngebieten vorrangig die Schadstoffgehalte der Bodenschichten 0-10 und 10-35 cm. Bei einer kombinierten Erkundung nach den Wirkungspfaden Boden - Mensch und Boden - Nutzpflanze (z.B. Wohngarten, der sowohl zu Spielzwecken als auch gärtnerisch genutzt werden kann, s. Kapitel 5), ist eine Angleichung der Beprobungstiefen von 35 cm und 30 cm (empfohlen werden die Beprobungstiefen 0 - 10, 10 - 30, 30 - 60 cm) gerechtfertigt.

Liegen Schadstoffe vor, bei denen vor allem der inhalative Pfad bedeutsam ist, ist in vegetationsfreien Bereichen zusätzlich die Bodenschicht 0-2 cm zu untersuchen. Für eine gegebenenfalls erforderliche Untersuchung der Staubbelastung ist die Feinfraktion bis 63 µm relevant.

Eine zusätzliche Gefährdungsabschätzung kann bei vorhandenen oder geplanten Wohngebieten/Wohngebäuden in Bezug auf Deponiegase (z.B. Methan, Schwefelwasserstoff) und auf leichtflüchtige Schadstoffe (z.B. BTEX oder LHKW) in der Bodenluft erforderlich sein. Für die Untersuchung und Bewertung dieser Stoffe wird auf das LfU-Merkblatt Altlasten 2 "Untersuchung und Bewertung von flüchtigen Stoffen bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden – Mensch (Pfad Luft)" [5] verwiesen.

Ist der Maßnahmenwert nach Tabelle A-2 für PCDD/F-Gehalte in Böden von Wohngebieten überschritten und wird eine früher betriebene oder derzeit noch vorhandene, emittierende Anlage als Ursache vermutet, so sollten zusätzlich Untersuchungen von Hausstaub durchgeführt werden, um auch Aussagen über die PCDD/F-Konzentrationen in Gebäuden treffen zu können.

Bereiche, in denen ortsüblich Kleinkinder spielen und die somit als Kinderspielflächen anzusehen sind, sind nach den für Kinderspielflächen festgelegten Werten zu beurteilen.

### **3.4 Park- und Freizeitanlagen**

Anhang 2 Nr. 1.1 BBodSchV [2]: „Anlagen für soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke, insbesondere öffentliche und private Grünanlagen sowie unbefestigte Flächen, die regelmäßig zugänglich sind und vergleichbar genutzt werden“.

Nr. 2.1 BAnz 161a [9]: „Unter Park- und Freizeitanlagen werden Anlagen für soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke, insbesondere öffentliche und private Grünanlagen sowie unbefestigte Flächen, die regelmäßig zugänglich sind, verstanden. Die regelmäßige Zugänglichkeit ist eine Bedingung, die auf den bei der Ableitung der Werte unterstellten Aufenthalt von Kindern abstellt“.

Bei der Nutzung von Parkanlagen sind im Regelfall die Aufenthaltszeiten von Kindern kürzer, das regelrechte „Buddeln“ von Kindern im Boden ist eher die Ausnahme und die Möglichkeiten zum direkten Bodenkontakt sind bei einer durchgehenden Bedeckung des Bodens, z.B. durch dichte oder unzugängliche Vegetation, geringer.

Ein dominierender Aufnahmepfad für Schadstoffe im Boden kann bei dieser Nutzungsart nicht von vornherein festgelegt werden und ist im Einzelfall zu bestimmen. Auf unbefestigten und nicht bewachsenen Flächen (Beispiel „Bolzplatz“) ist zusätzlich zur Möglichkeit der oralen, ggf. auch die inhalative Schadstoffaufnahme über den Staubgehalt der Luft bedeutsam. In solchen Fällen ist die Möglichkeit der inhalativen Aufnahme von Schadstoffen mit zu untersuchen und in der Bewertung zu berücksichtigen.

Bei Park- und Freizeitanlagen ist die Beprobungstiefe gemäß Anhang 1 der BBodSchV einfall- und teilflächenbezogen. In der Regel sind die Stoffgehalte in der Bodenschicht 0-10 cm für eine

Bewertung nach den Tabellen A-1a, b, c, d maßgeblich. Für Untersuchungen der Staubbelastung aus vegetationsfreien Bereichen ist die Feinfraktion bis 63 µm aus der Bodenschicht 0-2 cm relevant.

### **3.5 Industrie- und Gewerbegrundstücke**

Anhang 2 Nr. 1.1 BBodSchV [2]: „Unbefestigte Flächen von Arbeits- und Produktionsstätten, die nur während der Arbeitszeit genutzt werden“.

Nr. 2.1 BAnz 161a [9]: „Hierunter werden unbefestigte Flächen von Arbeits- und Produktionsstätten, die nur während der Arbeitszeit genutzt werden, die aber nicht Gegenstand von Arbeiten sind, verstanden. Militärisch genutzte Flächen werden grundsätzlich dieser Kategorie zugeordnet“.

Gewerblich genutzte Flächen gelten im Hinblick auf das Schutzgut menschliche Gesundheit als wenig sensible Art der Bodennutzung. Deshalb können in Industrie- und Gewerbegrundstücken im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch höhere Schadstoffkonzentrationen im Boden geduldet werden als bei den vorgenannten (sensibleren) Nutzungskategorien.

Liegen auf Teilflächen andere Nutzungen vor, z.B. Betriebswohnungen, sind die Prüfwerte für diese jeweiligen Nutzungen, hier also Wohngebiete, je nach Umfeld dieser Wohnungen (Spelmöglichkeit, Garten) ggf. auch für Kinderspielplätze und/oder Nutzpflanzenanbau heranzuziehen (s.o. Ausführungen zu Teilflächen mit anderen Nutzungen).

Als wahrscheinlichster Aufnahmepfad von Bodenkontaminationen für den Menschen wird in Industrie- und Gewerbegrundstücken die inhalative Aufnahme von schadstoffbelastetem Staub aus aufgewirbelten Bodenpartikeln und/oder flüchtigen Stoffen, die aus dem Boden ausgasen, auf nicht versiegelten Gewerbeflächen angenommen. Die Bodenwerte für Industrie- und Gewerbegrundstücke nach den Tabellen A-1a, b, c, d beziehen sich auf unbefestigte und unversiegelte Flächen im Bereich von Industrie- und Gewerbegrundstücken, die üblicherweise nur von Erwachsenen und nur während der Arbeitszeit genutzt werden.

Die zu untersuchende Bodentiefe ist bei gewerblich genutzten Grundstücken einzelfall- und teilflächen-bezogen festzulegen. Nach Anhang 1 BBodSchV sind die Gehalte in den Bodenschichten 0-2 cm und 0-10 cm zu bewerten.

## 4 Detailuntersuchung

Die Detailuntersuchung kann von der Kreisverwaltungsbehörde gegenüber dem Verpflichteten nach § 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG angeordnet werden. Die Durchführung der Detailuntersuchung erfolgt i.d.R. durch nach VSU Boden und Altlasten [8] zugelassene Sachverständige. Für qualifizierte Untersuchungen im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch ist eine Zulassung als Sachverständiger in dem entsprechenden Sachgebiet Nr. 4 des § 6 VSU Boden und Altlasten erforderlich.

In der Detailuntersuchung erfolgt eine vertiefte Untersuchung der Schadstoffbelastungen nach § 2 Nr. 4 BBodSchV mit dem Ziel, eine abschließende Gefährdungsabschätzung durchzuführen (s. auch Nr. 4.1.2.2 BayBodSchVwV) und über die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 7 BBodSchG oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 8 BBodSchG zu entscheiden.

Die Detailuntersuchung umfasst vor allem die Ermittlung der räumlichen Ausdehnung und die Verfügbarkeit der Schadstoffe sowie die Ermittlung der Exposition der Schutzgüter. Vor Durchführung der Detailuntersuchung ist vom Verpflichteten ein zielführendes Untersuchungsprogramm vorzulegen. Bei großflächigen und/oder komplexen Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen ist es sinnvoll, die Detailuntersuchung iterativ und damit mehrstufig zu gestalten.

Von einer Detailuntersuchung kann nach § 3 Abs. 5 BBodSchV dann abgesehen werden, wenn die von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen ausgehenden Gefahren, erheblichen Nachteile und erheblichen Belästigungen nach Feststellung der zuständigen Behörde mit einfachen Mitteln abgewehrt oder sonst beseitigt werden können.

Im Rahmen der weiteren Sachverhaltsermittlungen werden die Annahmen und Kriterien der Standardszenarien für die Prüfwertableitung auf den Einzelfall bezogen und ggf. angepasst. Dabei ist nicht nur die aktuelle, sondern auch die planungsrechtlich zulässige Nutzung zu beachten (§ 4 Abs. 4 BBodSchG).

Zu den im Rahmen der Detailuntersuchung durchzuführenden weiteren Sachverhaltsermittlungen gibt die BBodSchV keine ausführlichen Hinweise. In § 3 Abs. 5 und 6 BBodSchV wird auf die Abgrenzung der belasteten Flächen bzw. die Möglichkeit der Ausbreitung flüchtiger Stoffe aus einer belasteten Fläche hingewiesen. Zudem werden als weitere Sachverhaltsermittlungen die Klärung der für die Wirkungspfade maßgeblichen Expositionsbedingungen genannt (vgl. Anhang 1 Ziffer 1.2 BBodSchV).

Im Hinblick auf den Schutz der menschlichen Gesundheit können weitere Sachverhaltsermittlungen die folgenden Maßnahmen umfassen (fett gedruckt die jeweiligen Variablen der Prüfwertableitung):

1. Prüfung, ob die der Ableitung der Prüfwerte zugrunde liegenden Expositionsannahmen für den betrachteten Einzelfall (in etwa) zutreffen, im Einzelnen (ergänzt aus [17]):
  - die horizontale und vertikale Verteilung der Schadstoffe und damit die Zugänglichkeit im Hinblick auf die **aufnehmbaren Bodenmengen**,



- der Zustand der kontaminierten Fläche bezüglich **aufnehmbarer Bodenmengen**, d.h. Bewertung der Bodenbedeckung durch Bewuchs, des Versiegelungsgrades und der Art der Versiegelung (im Einzelfall kann dies eine vollständige Unterbindung eines Direktkontaktes bedeuten),
  - die tatsächlichen Nutzungsmöglichkeiten mit Bewertung der **Nutzungskategorie**, Zugänglichkeit der Fläche und Nutzungsfrequenz im Sinne der **Aufenthaltsdauer** (Tage pro Jahr, Stunden pro Tag),
  - die betroffene(n) Altersgruppe(n) und damit die Frage nach dem relevanten **Körpergewicht**,
  - die **Resorptionsverfügbarkeit** der Schadstoffe (Anteil der vom Körper aufnehmbaren Menge an der Gesamtmenge) in der vorliegenden Matrix, z.B. wenn durch ergänzende Untersuchungen belegt werden kann, dass die Schadstoffe in schlecht resorbierbarer Form vorliegen; zum Stand der verfügbaren Verfahren s. [18].
  - **stoffspezifische Bindungsformen**, insbesondere Bestimmung des toxischen Chrom(VI) zusätzlich zum Chrom gesamt bei einem Anteil von mehr als 40 % Chrom(VI) oder Erfassung eines hohen Anteils an organischem Quecksilber, **im Hinblick auf eine spezifische Toxizität**,
  - die tatsächliche **Relevanz einer inhalativen Aufnahme** für einzelne Schadstoffe (Intensität und Dauer der Aufnahme kontaminierten Staubs; Unterschiede im Schadstoffgehalt zwischen Fein- und Gesamtstaub – im Standardszenario für eingeatmeten Feinstaub Anreicherungsfaktor 5 für Schwermetalle und 10 für organische Stoffe; standortklimatisch bedingte geringere Staubfreisetzung),
  - **die Möglichkeit des Bestehens und der Relevanz anderer Wirkungspfade** neben der Direktaufnahme und dadurch bedingte zusätzliche Schadstoffaufnahme (z.B. in Hausgärten neben der Direktaufnahme die indirekte Aufnahme über angebaute Pflanzen, siehe Kapitel 5),
  - Berücksichtigung von **Kombinationswirkungen** zwischen verschiedenen Stoffen, z.B. additive Wirkungen bei Nitroaromaten (s. auch B 2.11), Antagonismus bei Zink und Cadmium.
2. Bei Prüfung der Szenarien auf Industrie-/Gewerbegrundstücken sind die o.g. Prüfungen grundsätzlich auch durchzuführen. Es sind in diesem Fall insbesondere
- die angenommene Expositionsdauer (Stunden pro Tag, Tage pro Jahr)
  - der Anteil atembaren Staubs bzw. die Staubkonzentration in der Atemluft und
  - die Art der das Atemvolumen bestimmenden Tätigkeit (schwere Arbeit erhöht das angenommene Atemvolumen)
- zu bewerten.
3. Bei hohen Prüfwert-Überschreitungen kann es im Hinblick auf Sofortmaßnahmen auch erforderlich sein, Untersuchungen zur intrakorporalen Schadstoffbelastung von Anwohnern und Nutzern, insbesondere von Kindern, die auf den kontaminierten Flächen leben und im Freien spielen, durchzuführen (Humanbiomonitoring). Ergebnisse derartiger Untersuchungen können dann in die Beurteilung des Einzelfalls einfließen. Auch hier sind aber gemäß § 4 Abs. 4 BBodSchG die planungsrechtlich zulässige Nutzung bzw. die Prägung des Gebiets unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung und das sich daraus ergebende Schutzbedürfnis zu beachten.

4. Die Praxis hat gezeigt, dass eine Aktualisierung der toxikologischen Basisdaten gemäß BAnz [9] nicht immer ausreichend zeitnah erfolgt. Entsprechende zusätzliche Informationen sollten bei der abschließenden Gefahrenabschätzung im Hinblick auf möglicherweise erforderliche Maßnahmen ergänzend herangezogen werden.

Auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen führt die Kreisverwaltungsbehörde die abschließende Bewertung durch. Im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch kann sie sich dabei auf die Beurteilung des zugelassenen Sachverständigen und die fachliche Mitwirkung der örtlichen Gesundheitsverwaltung stützen.

## 5 Synoptische Bewertung von zwei Wirkungspfaden

Bei der Konzeption der Untersuchungsstrategie für eine (möglicherweise) schadstoffbelastete Fläche findet man häufig den Fall, dass mehrere Nutzungen parallel stattfinden oder planungsrechtlich zulässig sind.

Beispiel hierfür sind Grundstücke in Wohngebieten, die als Kinderspielplatz und gleichzeitig zum Anbau von Obst und Gemüse genutzt werden (Szenario „Wohngarten“). Hier erfolgt i.d.R eine pfadintegrierende Betrachtung, damit eine Überlagerung der Pfade nicht zu einer erhöhten Exposition von Schutzgütern und damit zu einer Unterschätzung der Gefährdung führen kann [20].

Dies ist vor allem bei Stoffen möglich, die sowohl für den Direktpfad als auch für den Pflanzenpfad relevant sind. Für Cadmium als einzigem Schadstoff ist dies in der BBodSchV geregelt: In Haus- und Kleingärten mit Nahrungspflanzenanbau gilt abweichend von Kinderspielflächen (Prüfwert 10 mg/kg TM) und Wohngebieten allgemein (20 mg/kg TM) ein Prüfwert von 2 mg/kg TM. Für extrem stark in Pflanzen akkumulierende Stoffe wie Cadmium oder Nitroaromaten (sprengstofftypische Verbindungen) ist der Aufnahmepfad Boden - Pflanze maßgeblich, für andere überwiegt klar die direkte Aufnahme. Thallium wird als Beispiel für einen Stoff angesehen, für den eine pfadintegrierende Bewertung angebracht ist [21].

Im Rahmen der Detailuntersuchung werden für alle möglichen und relevanten Wirkungspfade die aktuell gegebenen und die bei planungsrechtlich zulässiger Nutzung möglichen Expositionen der Schutzgüter mit den Grundannahmen der Standardszenarien unter Berücksichtigung weiterer Kriterien verglichen.

Die zu prüfenden Punkte sind u.a.:

### 1. Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) (vgl. Kapitel 4)

- a) horizontale und vertikale Verteilung der Schadstoffe (Zugänglichkeit)
- b) Bodenbedeckung/Versiegelung (Zugänglichkeit)
- c) tatsächliche Nutzung und Nutzungsmöglichkeiten
- d) betroffene Altersgruppen (Körpergewicht)
- e) realer Anteil der Hintergrundbelastung
- f) relative Resorptionsverfügbarkeit
- g) spezifische Toxizität der Schadstoffe (Bindungsformen, Art der Wirkung)
- h) inhalative Aufnahme von Schadstoffen
- i) ggf. Ergebnisse eines Humanbiomonitoring
- j) ggf. Kombinationswirkungen
- k) aktuelle toxikologische Erkenntnisse
- l) Grad der Prüfwertüberschreitung (im Zusammenhang mit den Fehlerbreiten der Messwerte)

### 2. Wirkungspfad Boden-Pflanze

(Hinweise hierzu wird vor allem das künftige Merkblatt Boden-Pflanze geben)

- a) tatsächliche Nutzung und Nutzungsmöglichkeiten hinsichtlich des Pflanzenpfades
- b) horizontale und vertikale Verteilung der Schadstoffe

- c) Mobilität/Verfügbarkeit der Schadstoffe unter Berücksichtigung der Bodeneigenschaften, soweit nicht in Bestimmungsverfahren gemäß BBodSchV integriert, z. B. Ammoniumnitrat-Extrakt
- d) Abschätzung individueller Verzehrsmengen
- e) Initiierung ggf. weiterer Untersuchungen, z. B. Bestimmung von Schadstoffen in Erntegütern oder stärker tiefengestaffelte Untersuchung
- f) Art der Wirkung des einzelnen Schadstoffs (z. B. Pflanzenwachstum oder reversible/irreversible Schädigung von Menschen)
- g) Möglichkeit einfach zu realisierender Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen

Abweichungen von den Standardszenarien werden benannt und nach Möglichkeit quantifiziert. Außerdem muss geprüft werden, ob neben dem direkten Kontakt und dem Pflanzenpfad weitere relevante Wirkungspfade am Standort vorhanden sind.

Wenn nach Prüfung der genannten Kriterien im Ergebnis die Bedeutung eines Wirkungspfades eindeutig überwiegt (z.B. nur der Prüfwert für einen Wirkungspfad erheblich überschritten wird oder eine hohe Schadstoffbelastung erst ab 25 cm Tiefe auftritt), wird nur für diesen eine Bewertung vorgenommen. Anderenfalls erfolgt für beide Pfade eine integrierende Bewertung. Bei Bewertung mehrerer Grundstücke (z.B. in einem Wohngebiet) können solche mit vergleichbaren Schadstoffbelastungen zu Gruppen zusammengefasst werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17.03.1998, BGBl. I S. 502.
- [2] Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung - BBodSchV) vom 12.07.1999, BGBl. I S. 1554-1582.
- [3] Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bayerisches Bodenschutzgesetz – BayBodSchG) vom 23. Februar 1999, GVBl. 1999, S. 36.
- [4] Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern (Bay-BodSchVwV) vom 11.07.2000; AllMBl. 2000 S. 473; ber. S. 534.
- [5] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: LfU-Merkblatt Altlasten 2 „Untersuchung und Bewertung von flüchtigen Stoffen bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden – Mensch (Pfad Luft). Augsburg: 2002; in Vorbereitung.
- [6] Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27.08.1997; BGBl. I S. 2141, zuletzt geändert am 19.06.2001, BGBl. I S. 1149.
- [7] Fachkommission „Städtebau“ der ARGEBAU: Mustererlass zur Berücksichtigung von Flächen mit Bodenbelastungen, insbesondere Altlasten, bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren, beschlossen: 26. September 2001. Einführung durch die OBB im StMI mit Schreiben vom 18.04.02 – Az.: IIB5-4611.110-007/91.  
[http://www.stmibybn.de/iib/auswahl\\_wichtiger\\_schreiben/default.htm](http://www.stmibybn.de/iib/auswahl_wichtiger_schreiben/default.htm);  
<http://www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/boden/vollzug.htm>.
- [8] Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbehandlung in Bayern (VSU Boden und Altlasten), vom 3. Dezember 2001, GVBl. 2001, S. 938.
- [9] Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 18. Juni 1999. Bundesanzeiger 51, Nr. 161a, vom 28.08.1999, S. 1-43.
- [10] Ständiger Ausschuss Altlasten der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten – Informationsblatt für den Vollzug (Stand: März 2002).
- [11] Umweltbundesamt: Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten. Ableitung und Berechnung von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für den Wirkungspfad Boden-Mensch aufgrund der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28. August 1999, Berlin: Erich Schmidt Verlag (1999).
- [12] Eikmann, Th.; Heinrich, U.; Heinzow, B.; Konietzka, R.: Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen. Ergänzbare Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihre Bewertung. Loseblattsammlung, Berlin: Erich Schmidt Verlag (1999). Stand 5. Erg.-Lfg. Oktober 2001.
- [13] Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) – Altlastenausschuss (ALA), Endbericht Arbeitshilfe Qualitätssicherung des Unterausschusses (UA QS) „Arbeitshilfe für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung“, Kapitel 1 Untersuchungsstrategie, Juni 2002.
- [14] LfU/LfW: „Entnahme von Boden- und Bodenluftproben“. Gemeinsames Merkblatt von LfU und LfW, Veröffentlichung Ende 2002 vorgesehen.

- [15]LfU/LfW: „Untersuchung von Bodenproben und Eluaten bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Gewässer und Boden-Mensch. 2002.
- [16]Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Handbuch zur Altlastenbehandlung – Branchenbezogene Merkblätter;  
[www.umwelt.sachsen.de/lfug/veroeffentlichungen/verzeichnis/index.htm](http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/veroeffentlichungen/verzeichnis/index.htm)
- [17]LABO-LAGA-AG „Direktpfad“ (1996): Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Bodenverunreinigungen/Altlasten - Mensch (Direkter Übergang).- Bericht vom 17.09.1996 (unveröffentlicht).
- [18]Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Merkblatt Nr. 22: Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für die Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden- Nutzpflanze. Essen, Juli 2000.
- [19]Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz beim BMU: Empfehlungen des Wissenschaftlichen Beirates Bodenschutz zu den Prüfwert-Vorschlägen zu B(a)P (für PAK) und Naphthalin. altlasten spektrum 10 (2001) 40-41.
- [20]Delschen, Th.: Pfadintegrierende Bewertung von Bodenbelastungen in Haus- und Kleingärten. Teil 2: Prüfwerte für das Nutzungsszenario „Wohngärten“. altlasten spektrum 7 (1998) 336-342.
- [21]Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Bodenverunreinigungen/Altlasten - Pflanze. In: Rosenkranz, D.; Einsele, G.; Bachmann, G.; Harreß, H. (Hrsg.): Handbuch Bodenschutz. 1998. Kennziffer 9009., Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- [22]Schneider, K.; Schuhmacher, U.S.; Oltmanns, J.; Kalberlah, F.: Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Teil B – Ableitung von Prüfwerten. Bericht des Forschungs- und Beratungsinstituts Gefahrstoffe GmbH, Freiburg i.Br., an das Umweltbundesamt Berlin, F+E-Vorhaben 298 73 771. Juli 1999 (unveröffentlicht).
- [23]Schneider, K.; Oltmanns, J.; Hassauer, M.; Schuhmacher, U.S.: Ermittlung von Prüfwerten für ausgewählte rüstungsrelevante Schadstoffe. Bericht des Forschungs- und Beratungsinstituts Gefahrstoffe GmbH, Freiburg i.Br., an das Umweltbundesamt Berlin, F+E-Vorhaben 298 76 251. Dezember 1999 (unveröffentlicht).
- [24]Konietzka, R., Dieter, H.H.: Ermittlung gefahrenbezogener chronischer Schadstoffdosen zur Gefahrenabwehr beim Wirkungspfad Boden-Mensch. In: D. Rosenkranz, G. Bachmann, W. König, G. Einsele (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Berlin: Erich Schmidt Verlag (1998)

## **Anhang A**

### **Prüfwerte, Prüfwertvorschläge und Maßnahmenwerte (Tabellen)**





**Tabelle A- 1a: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt) nach Anhang 2 BBodSchV, abgeleitet nach den Methoden und Maßstäben der Bundesanzeigers Nr. 161a [9] (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1 BBodSchV)**

Stoff	Prüfwerte [mg/kg TM]			
	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanla- g e n	Industrie- und Gewerbegründ- stücke
Arsen	25	50	125	140
Blei	200	400	1000	2000
Cadmium	10 <sup>3)</sup>	20 <sup>3)</sup>	50	60
Cyanide	50	50	50	100
Chrom	200	400	1000	1000
Nickel	70	140	350	900
Quecksilber	10	20	50	80
Aldrin	2	4	10	△ <sup>1)</sup>
Benzo[a]pyren	2	4	10	12
DDT	40	80	200	△ <sup>1)</sup>
Hexachlorbenzol	4	8	20	200
Hexachlorcyclohexan (HCH-Gemisch oder β-HCH)	5	10	25	400
Pentachlorphenol	50	100	250	250
Polychlorierte Biphenyle (PCB <sub>6</sub> ) <sup>2)</sup>	0,4	0,8	2	40

<sup>1)</sup> unpraktikabel hoher Prüfwert, Einzelfallbetrachtung auf Grundlage der Ableitungsgrundsätze [11]

<sup>2)</sup> Summe der 6 Kongenere nach Ballschmiter. Soweit PCB-Gesamtgehalte bestimmt werden, sind die ermittelten Messwerte durch den Faktor 5 zu dividieren.

<sup>3)</sup> In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nutzpflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TM als Prüfwert anzuwenden.

**Tabelle A-1b: Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt) für anorganische Stoffe [11, 10], abgeleitet nach den Methoden und Maßstäben des Bundesanzeigers Nr. 161a [9] (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1 BBodSchV)**

Stoff	Prüfwertvorschläge [mg/kg TM]			
	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanla- gen	Industrie- und Gewerbe- grundstücke
Antimon u. Verbindungen	50	100	250	250
Beryllium u. Verbindungen	250	500	500	500
Chrom (VI)	In Bearbeitung			
Cobalt u. Verbindungen	In Bearbeitung			
Thallium u. Verbindungen	5	10	25	n.a. <sup>2)</sup>
Vanadium u. Verbindungen	280	560	1400	▲ <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> - ▲ unpraktikabel hoher Prüfwert

<sup>2)</sup> - n.a. - nicht abgeleitet, auf Grund fehlender toxikologischer Grundlagen

**Tabelle A-1c: Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt) für organische Stoffe [11, 10], abgeleitet nach den Methoden und Maßstäben des Bundesanzeigers Nr. 161a [9] und ergänzender Methodik [11] (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1 BBodSchV)**

Stoff	Prüfwertvorschläge [mg/kg TM]			
	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanla- gen	Industrie- und Gewerbe- grundstücke
Benzol	In Bearbeitung			
Chlorbenzol	15	15	▲ <sup>1)</sup>	170
Chloroform	0,1	0,1	▲ <sup>1)</sup>	0,5
Dichlorbenzol; m-	50	50	100	▲ <sup>1)</sup>
Dichlorbenzol; o-	50	50	100	▲ <sup>1)</sup>
Dichlorbenzol; p-	50	50	100	▲ <sup>1)</sup>
Dichlormethan	0,1	0,1	▲ <sup>1)</sup>	2
Dichlorpropan; 1,2-	1	1	▲ <sup>1)</sup>	5
Ethylbenzol	In Bearbeitung			
Phenol	50	50	100	▲ <sup>1)</sup>
PAK, gesamt	In Bearbeitung			
Tetrachlorethan; 1,1,2,2-	0,3	0,3	▲ <sup>1)</sup>	0,3
Tetrachlorethen (PER)	1,5	1,5	▲ <sup>1)</sup>	25
Toluol	10	10	▲ <sup>1)</sup>	120
Trichlorbenzol; 1,2,4-	25	25	▲ <sup>1)</sup>	300
Trichlorethan; 1,1,1-	15	15	▲ <sup>1)</sup>	180
Trichlorethen	0,3	0,3	▲ <sup>1)</sup>	5
Trimethylbenzol; 1,3,5- und andere TNB-Isomere	200	200	▲ <sup>1)</sup>	2000
Xylole	10	10	▲ <sup>1)</sup>	100

<sup>1)</sup> - ▲ unpraktikabel hoher Prüfwert

**Tabelle A-1d: Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt) für rüstungsspezifische Stoffe [23, 10], abgeleitet nach den Methoden und Maßstäben des Bundesanzeigers Nr. 161a [9] (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1 BBodSchV)**

Stoff	Prüfwertvorschläge [mg/kg TM]			
	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanla- gen	Industrie- und Gewerbe- grundstücke
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol <sup>3)</sup>	20	40	100	200
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol <sup>3)</sup>	20	40	100	200
Dinitrobenzol; 1,3- <sup>3)</sup>	15	30	75	150
Dinitrodiphenylamin; 2,4- <sup>4)</sup>	n.a. <sup>2)</sup>	n.a. <sup>2)</sup>	n.a. <sup>2)</sup>	n.a. <sup>2)</sup>
Dinitrotoluol; 2,4- <sup>3)</sup>	3	6	15	50
Dinitrotoluol; 2,6- <sup>3)</sup>	0,2	0,4	1	5
Diphenylamin	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>
Hexogen (RDX)	100	200	500	500
Hexanitrodiphenylamin (Hexyl) <sup>3)</sup>	150	300	750	1500
Nitrobenzol <sup>3)</sup>	1	1	▲ <sup>1)</sup>	15
Nitrodiphenylamin; 2- <sup>4)</sup>	n.a. <sup>2)</sup>	n.a. <sup>2)</sup>	n.a. <sup>2)</sup>	n.a. <sup>2)</sup>
Nitrodiphenylamin; 4- <sup>4)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>
Pentaerythritoltetranitrat (Nitropenta)	500	1000	2500	5000
Nitrotoluol; 2- <sup>3)</sup>	0,2	0,4	1	5
Nitrotoluol; 3- <sup>4)</sup>	1000	1000	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>
Nitrotoluol; 4- <sup>4)</sup>	250	250	▲ <sup>1)</sup>	3000
N-Methyl-N,2,4,6- tetranitroanilin (Tetryl) <sup>3)</sup>	200	400	1000	2000
Oktogen (HMX)	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>
Trinitrobenzol; 1,3,5- <sup>4)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>	▲ <sup>1)</sup>
Trinitrophenol; 2,4,6- <sup>4)</sup> (Pikrinsäure)	8	15	40	80
Trinitrotoluol; 2,4,6- <sup>3)</sup>	20	40	100	200

- <sup>1)</sup> ▲ Die errechneten Bodenwerte sind nach Plausibilitätsprüfung als Prüfwerte nicht praktikabel, da zu hoch.  
<sup>2)</sup> n.a. - für diese Stoffe konnten auf Grund unzureichender Datengrundlage keine Prüfwertvorschläge abgeleitet werden.  
<sup>3)</sup> Bei diesen Stoffen ist aufgrund ihrer nachgewiesenen oder vermuteten kanzerogenen Wirkung mit additiven Wirkungen zu rechnen (siehe hierzu Anhang B-2.11).  
<sup>4)</sup> Bei diesen Stoffen ist u.a. bzgl. Hämatotoxizität und Testestoxizität mit additiven Wirkungen zu rechnen (siehe Anhang B-2.11).

**Tabelle A-2: Maßnahmenwerte Wirkungspfad Boden - Mensch nach Anhang 2 Nr. 1.2 BBodSchV für die direkte Aufnahme von Dioxinen/Furanen (in ng/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1 BBodSchV)**

Stoff	Maßnahmenwerte [ng I-TE/kg TM]*			
	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanla- gen	Industrie- und Gewerbe- grundstücke
Dioxine/Furane (PCDD/F)	100	1.000	1.000	10.000

\* Summe der 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalente (nach NATO/CCMS)



## **Anhang B**

### **Ableitung von Prüfwerten**



## **B-1 Grundsätzliches**

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf das Schutzgut menschliche Gesundheit. Die Schutzgüter Nutzpflanzen und Grundwasser sind Gegenstand weiterer Merkblätter.

Sowohl Prüfwerte als auch Maßnahmenwerte weisen einen Bezug zur Nutzung des Bodens auf, d.h. ihre Höhe ist von Art und Intensität der menschlichen Nutzung und der damit verbundenen Exposition gegenüber bodenbürtigen Schadstoffen abhängig. In der BBodSchV werden die Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke (vgl. Abschnitt 2.2 und 3.1) unterschieden, ergänzend landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung (inkl. Wohngärten, vgl. Kapitel 5).

Für die Ableitung der Prüfwerte in Anhang 2 BBodSchV wird die Exposition so bemessen, dass „im ungünstigsten Expositionsfall“ auf das Vorliegen einer Gefahr für das Schutzgut zu schließen ist, mithin bei Unterschreitung der Prüfwerte in der Regel keine Gefährdung mehr zu erwarten ist.

Maßnahmenwerte werden in Anhang 2 Nr. 1 BBodSchV - bis auf die Ausnahme Dioxine/Furane - nicht angegeben.

Die der Ableitung von Prüf- und Maßnahmenwerten zu Grunde liegenden Methoden und Maßstäbe für den Wirkungspfad Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze wurden ausführlich im Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28.08.1999 [9] beschrieben. In den folgenden Abschnitten B-2.1 und B-2.10 werden auszugsweise einige wesentliche Inhalte dieser Veröffentlichung für den Wirkungspfad Boden-Mensch dargestellt, im Abschnitt 2.11 ein Modus zur Berücksichtigung von Kombinationswirkungen.

## **B-2 Wirkungspfad Boden – Mensch**

### **B-2.1 Humantoxikologische Bewertungsmaßstäbe**

Als Grundlage für die Ableitung von humantoxikologisch begründeten Prüfwerten werden für die Prüfwerte nach BBodSchV in der Regel TRD-Werte (tolerierbare resorbierte Dosen) herangezogen. Die TRD-Werte kennzeichnen definitionsgemäß die tägliche Belastung, bei der über die gesamte Lebenszeit auch bei empfindlichen Personen nicht mit Gesundheitsschädigungen zu rechnen ist.

Fallweise werden zusätzlich auch andere grundlegende Bewertungsmaßstäbe herangezogen, so z.B. bei Arsen oder Blei (vgl. Abschnitt B-2.7).

TRD-Werte (angegeben als täglich resorbierte Schadstoffmenge pro kg Körpergewicht - mg/(kg KG · d)) liegen für die Stoffe nach BBodSchV (Pfad Boden - Mensch) für den oralen und inhalativen Pfad vor. Falls notwendig und möglich, wird auch der dermale Pfad berücksichtigt. Angegeben wird die täglich ausschließlich über den betrachteten Pfad resultierende innere Belastung, welche gerade noch zu tolerieren ist. Eine zusätzliche Belastung über einen anderen Pfad wird dabei nicht zu Grunde gelegt.

Für die inhalative Belastung werden medienbezogene Werte angegeben, d.h. als Luftkonzentration in mg/m<sup>3</sup>, wenn bei lokaler Wirkung auf den Atemtrakt die Ermittlung einer Körperdosis nicht sinnvoll ist. Da es sich hierbei nicht um resorbierte Dosen handelt, werden diese Konzentrationswerte nicht als TRD-Werte, sondern als Referenzkonzentrationen (RK) bezeichnet.

### **B-2.2 Bewertungsmaßstab für krebserzeugende Stoffe**

Für kanzerogene Wirkungen wird kein TRD-Wert abgeleitet, da grundsätzlich nicht von einer tolerierbaren Stoffdosis gesprochen werden kann. Statt dessen wird bei kanzerogenen Stoffen von einer resorbierten Körperdosis ausgegangen, die einem einzelstoffbezogenen zusätzlichen rechnerischen Risiko von 1:100.000 ( $1 \times 10^{-5}$ ), durch lebenslange Exposition gegenüber dem entsprechenden Gefahrstoff an Krebs zu erkranken, entspricht (basierend auf einem Votum des Sachverständigenrates für Umweltfragen, dem auch die Gesundheitsministerkonferenz in einer Entschließung 1994 folgte). Das rechnerische Risiko von  $10^{-5}$  wird dem Schutzniveau des TRD-Werts gleichgesetzt. Die Grundlage der dem rechnerischen Risiko entsprechenden Dosis ist das „unit risk“ (s.u.).

Die Bewertung der Kanzerogenität einer Substanz erfolgt hinsichtlich des kanzerogenen Potenzials (möglicher kanzerogener Wirkung) sowie der kanzerogenen Potenz (Wirkungsstärke). Der Kennzeichnung des kanzerogenen Potenzials liegen die Einstufungen der Europäischen Union, des Ausschusses für Gefahrstoffe, der Senatskommission zur Prüfung gesundheitlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Internationalen Krebsagentur (IARC) der WHO und/oder der US-EPA zugrunde. Die kanzerogene Potenz wird mittels einer Krebsrisikoberechnung nach dem Unit-risk-Konzept abgeschätzt. Das „unit risk“ gibt das mit der Aufnahme einer bestimmten Dosis verbundene Risiko an.

Sofern für einen spezifischen Stoff kein oder ein auf einer unzureichenden Datenbasis bestimmtes „unit risk“ vorliegt, wird die kanzerogene Potenz über den CELmin (minimal cancerogenic effect level = kleinste Dosis, bei der - in Laborstudien am Tier - ein kanzerogener Effekt beobachtet wurde) abgeschätzt. Als Maß für die kanzerogene Potenz wird ein 10 000-tel des CELmin ( $CEL_{min} / 10\ 000$ ) angesetzt. Beim Vergleich der Prüfwertableitung mit unzureichendem „unit risk“ und mit  $CEL_{min}/10\ 000$  wird in der Regel das niedrigere Ergebnis herangezogen.

In die Prüfwertableitung fließen auch Überlegungen zur stoffspezifisch höheren Empfindlichkeit von Kindern gegenüber Krebs erzeugenden Stoffen ein.

### **B-2.3 Annahmen zur Resorption und zur Hintergrundbelastung/Ausschöpfungsquote**

Bei bestimmten Expositionsszenarien können mehrere Aufnahmewege (häufig inhalativ und oral) gleichzeitig eine Rolle spielen. Um die pfadspezifischen Anteile angemessen zu berücksichtigen, werden die humantoxikologischen Bewertungsmaßstäbe als resorbierte Dosen ausgewiesen. Zur Ermittlung einer inneren Gesamtbelastung wird die jeweilige pfadspezifisch zugeführte Schadstoffmenge mit der Resorptionsquote multipliziert, um die anteilige innere Belastung zu erhalten. Es wird stoffspezifisch angegeben [11], welche Resorptionsquote zur Ableitung des TRD-Wertes aus den tierexperimentellen Daten eingesetzt und welche Quote beim Menschen zur Rückrechnung auf die zugeführten Schadstoffmengen verwendet wird.

Bei vielen Stoffen existieren keine Untersuchungen der Resorptionsquote bei Mensch oder Tier. In diesen Fällen wird, falls die Stoffeigenschaften für eine gute Bioverfügbarkeit sprechen, als angenommene Resorption 100 % verwendet.

Die gefahrenbezogene Körperdosis (zum Gefahrenbezug s. B-2.4) soll durch die gesamte Belastung über alle Pfade (z.B. Aufnahme über den direkten Kontakt, die Nahrung und die Luft) zum Menschen hin nicht überschritten werden.

Es liegen jedoch nur für wenige Stoffe empirische Daten über die Belastung von Nahrung und Luft vor. Deshalb wird als Regelannahme eine 80-%ige Ausschöpfung des TRD-Wertes durch die Hin-



tergrundbelastung angenommen. Im Falle von systemischer (d.h. mehrere Organe gleichermaßen betreffender und nicht nur lokaler) Wirkung gilt dies auch für die Berechnung der inhalativen Exposition.

In der Annahme zur Hintergrundbelastung ist in der Regel auch eine geringfügig erhöhte Aufnahme über andere, hier nicht betrachtete, von Bodenbelastungen ausgehende Wirkungspfade eingeschlossen (z.B. bodenbürtiger Hausstaub, für den derzeit keine exakte Quantifizierung durchgeführt werden kann). Ist eine erhebliche Aufnahme über mehrere Pfade anzunehmen, so sollte dies im Rahmen der Einzelfallbetrachtung ermittelt werden.

Bei kanzerogenen Wirkungen entfällt die rechnerische Berücksichtigung der Hintergrundbelastung, da bei der Prüfwertableitung das zusätzliche Krebsrisiko beurteilt wird, das durch die schädliche Bodenveränderung oder Altlast verursacht wird.

### **B-2.4 Gefahrenbezug**

Der Gefahrenbegriff stammt aus dem allgemeinen Polizei- und Ordnungsrecht. Unter Gefahr wird eine Lage verstanden, in der „bei ungehindertem Ablauf des Geschehens ein Zustand oder ein Verhalten mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden für die Schutzgüter der öffentlichen Sicherheit oder öffentlichen Ordnung führen würde“ (zitiert in [24]).

Ein Schaden ist nicht jede geringfügige Beeinträchtigung, Belästigung oder Unbequemlichkeit. Der Eintritt eines Schadens muss hinreichend wahrscheinlich sein, um weitere Untersuchungen und Maßnahmen zu begründen. Hinreichende Wahrscheinlichkeit verlangt zwar keine Gewissheit, dass der Schaden eintritt, andererseits genügt die bloße Möglichkeit eines Schadenseintritts nicht zur Annahme einer Gefahr. Es muss vielmehr die begründete Befürchtung der Gefahrenverwirklichung bestehen, zum Beispiel, dass mit dem Prüfwert eine Gefahrensituation für den ungünstigen Fall einer Exposition oder eines Schadstofftransfers zum Schutzgut (Mensch, Nahrungspflanze, Futtermittel) beschrieben wird [17].

Die praktisch sichere Körperdosis (hier: der TRD-Wert, entspricht in etwa dem NOAEL bei empfindlichen Personengruppen, s.u.) weist keinen Gefahrenbezug auf. Prüfwerte sind jedoch gemäß den oben genannten Überlegungen so festzulegen, dass ein Gefahrenbezug, mithin also die hinreichende Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts gegeben ist.

Als fachliche Grundlage für die Erstellung einer Gefahrenverknüpfung wird deshalb eine gefahrenbezogene Körperdosis herangezogen, die unter der Schwelle beobachtbarer und als schädlich zu bewertender Wirkungen (LOAEL = lowest observed adverse effect level - niedrigste Dosis, bei der noch adverse, d.h. schädliche Effekte beobachtet wurden) liegt, aber über der Dosis, bei der keine Wirkungen beobachtet wurden (NOAEL = no observed adverse effect level - höchste Dosis, bei der keine adversen Effekte mehr beobachtet wurden).

Die gefahrenbezogene Körperdosis für Stoffe mit Wirkungsschwelle (nichtkanzerogene Stoffe) ergibt sich aus der Multiplikation der praktisch sicheren Körperdosis (hier: des TRD-Wertes) mit einem gefahrenverknüpfenden Faktor ( $F_{\text{gef}}$ ). Der gefahrenverknüpfende Faktor wird als geometrisches Mittel aus den (humanrelevanten) Sicherheitsfaktoren (SF - vgl. B-2.5) erstellt, die zur Ableitung des TRD-Wertes herangezogen wurden, z.B.:

$$\text{Gefahrenbezogene Dosis} = \text{TRD} \cdot \sqrt{\text{SF}_c \cdot \text{SF}_d} \quad \text{mit} \quad \sqrt{\text{SF}_c \cdot \text{SF}_d} = F_{\text{gef}}$$

( $F_{\text{gef}}$  liegt i. A. zwischen 2 und 10).

Für Stoffe ohne Wirkungsschwelle (mit kanzerogener Wirkung) wird ebenfalls ein gefahrenverknüpfender Faktor eingeführt, der meist niedriger ist als jener für Stoffe mit Wirkungsschwelle. Es wird unterschieden nach Stoffen, für die kanzerogene Wirkung vergleichsweise sicher ist und Stoffen, deren kanzerogene Wirkung nur experimentell nachgewiesen bzw. deren Wirkungsdaten nicht ausreichend sind.

Für Stoffe mit vergleichsweise sicherer kanzerogener Wirkung wird ein gefahrenverknüpfender Faktor von 5 eingeführt, mit

$$\text{Gefahrenbezogenes Risiko} = \text{ZR}_{\text{akz}} * 5$$

( $\text{ZR}_{\text{akz}}$  = zusätzliches und akzeptables Krebsrisiko)

Für Stoffe, bei denen nur in Einzelfällen und erst ab bestimmten Dosen eine kanzerogene Wirkung festgestellt wird, wird der Gefahrenbezug durch die Einführung eines zusätzlichen Faktors 0,1 auf die Berechnungsformel für nichtkanzerogene Stoffe hergestellt, also

$$\text{Gefahrenbezogene Dosis} = \text{TRD-Wert} * 0,1 * F_{\text{gef}}$$

Überlegungen zum Gefahrenbezug finden sich ausführlich bei *Konietzka und Dieter* [24].

### **B-2.5 Sicherheitsfaktoren**

Idealerweise beruht eine Ableitung von TRD-Werten auf fundierten Beobachtungen am Menschen. Liegen solche Erkenntnisse nicht vor, so wird auf tierexperimentelle Daten zurückgegriffen und mit Hilfe von Sicherheitsfaktoren auf den Menschen und hier auf besonders empfindliche Personengruppen extrapoliert.

Die Sicherheitsfaktoren haben die folgende Bedeutung:

- SF<sub>a</sub> charakterisiert den Unterschied zwischen Lang- und Kurzzeitbelastung bei Mensch und Versuchstier und wird angewandt, um von subakuten Wirkungen (Zeitraum bis 30 Tage) oder sub-chronischen (bis 180 Tage) auf chronische Wirkungen (> 180 Tage) zu extrapolieren.
- SF<sub>b</sub> bezieht sich auf die Dosis-Wirkungs-Kurve bei Mensch/Versuchstier und wird angewandt, um von einem LOAEL auf einen NOAEL zu schließen (vgl. B-2.4).
- SF<sub>c</sub> bezieht sich auf die zwischenartliche Varianz zwischen Mensch und Versuchstier und wird eingesetzt, um Tierversuchsdaten auf den Menschen zu extrapolieren.
- SF<sub>d</sub> bezieht sich auf innerartliche Varianz beim Menschen und überbrückt den Unterschied zu besonders empfindlichen Personengruppen.

Die einzelnen Sicherheitsfaktoren liegen, je nach Kenntnis der toxikologischen Zusammenhänge, zwischen 1 und 10.

### **B-2.6 Expositionsannahmen im Rahmen der Prüfwertableitung**

Die Prüfwertableitung erfolgt für die Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke. In den verschiedenen Nutzungsszenarien werden für die potenziell betroffenen Personen jeweils unterschiedliche Expositionspfade angenommen, die in der nachfolgenden Tabelle B-1 dargestellt sind:

**Tabelle B- 1: Nutzungsabhängige Expositionspfade**

<b>Szenarien/Exposition durch</b>	<b>orale BA<sup>1)</sup></b>	<b>inhalative BA (Staub)</b>	<b>dermale BA</b>
Kinderspielflächen	+	+	+
Wohngebiete	+	+	+
Park- und Freizeitanlagen	+	+	+
Industrie- und Gewerbe-Grundstücke	<sup>2)</sup>	+	<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> BA = Bodenaufnahme

<sup>2)</sup> orale und dermale Bodenaufnahme auf Industrie- und Gewerbegrundstücken muss im Einzelfall gesondert betrachtet werden.

Im Folgenden werden die der Prüfwertberechnung zu Grunde gelegten Expositionsfaktoren für die verschiedenen Expositionspfade dargestellt (Tabellen B-2 bis B-4). Die zugehörigen Formeln finden sich im Anhang C.

**Tabelle B- 2: Expositionsannahmen für orale Bodenaufnahme**

	<b>Orale Bodenaufnahme</b>		
	<b>Kinderspielflächen</b>	<b>Wohngebiete</b>	<b>Park- und Freizeitanlagen</b>
Körpergewicht (kg)	10	10	10
Bodenaufnahme (g/d)	0,5	0,25	0,1
Bodenaufnahmerate (mg/(kg * KG * d))	33	16,5	6,6
Aufenthaltszeit (d/a)	240	240	240
Expositionszeitfaktor L <sup>1)</sup>	8,75	8,75	8,75

<sup>1)</sup> Der Faktor L wird eingeführt, um das Krebsrisiko der Zeit, in der bei Kindern hauptsächlich eine Bodenaufnahme erfolgt (die ersten acht Lebensjahre), auf die Gesamtlebenszeit von 70 Jahren hochzurechnen, mit  $L = 70a/8a$ .

**Tabelle B- 3: Expositionsannahmen für inhalative Bodenaufnahme für Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen**

	<b>Inhalative Bodenaufnahme</b>		
	<b>Kinderspielplätze</b>	<b>Wohngebiete</b>	<b>Park- und Freizeitanlagen</b>
Körpergewicht (kg)	10	10	10
Atemvolumen in m <sup>3</sup> /h bei mäßiger Aktivität mit 15 m <sup>3</sup> /d	0,625	0,625	0,625
Spielzeit (h/d)	2	n.a.	n.a.
Aufenthaltsdauer (d/a)	240	n.a.	n.a.
Angenommene Staubkonzentration der Luft (mg/m <sup>3</sup> )	1	n.a.	n.a.
Anreicherungsfaktor A <sup>1)</sup>	5 und 10	5 und 10	5 und 10
Bodenaufnahme (mg/d)	0,82	0,41	0,16
Bodenaufnahmerate (mg/(kg * KG * d))	0,082	0,041	0,016
Gewichtungsfaktor G <sup>2)</sup>	18,25	18,25	18,25
Expositionszeitfaktor L <sup>3)</sup>	8,75	8,75	8,75

<sup>1)</sup> Der Anreicherungsfaktor A berücksichtigt die Anreicherung von Schadstoffen in der Feinfraktion (Staub) im Vergleich zur Gesamtfraktion. Für anorganische Stoffe ist A=5, für organische Stoffe ist A=10.

<sup>2)</sup> Der Gewichtungsfaktor G kommt bei der Prüfwertableitung für jene Stoffe zur Anwendung, für die die lokale Wirkung im Atemtrakt (berücksichtigt durch die Referenzkonzentration RK; vgl. B-2.1) bewertungsrelevant ist. Der Gewichtungsfaktor berücksichtigt die anteilige Aufenthaltszeit und errechnet sich aus  $G = 24h/2h * 365d/240d = 18,25$ .

<sup>3)</sup> Zum Faktor L vgl. Tabelle B-2.

**Tabelle B- 4: Expositionsannahmen für inhalative Bodenaufnahme auf Industrie- und Gewerbegrundstücken**

	<b>Inhalative Bodenaufnahme (Industrie- und Gewerbegrundstücke)</b>
Arbeitszeit	8 h/d an 5 d/w und 45 w/a
Witterungsbedingte Reduktion der Exposition im Jahr	1/3 des Jahres
Expositionsdauer D (h/a)	600
Gewichtungsfaktor Z <sup>1)</sup> (nichtkanzerogene Stoffe)	14,6
Gewichtungsfaktor Z <sup>1)</sup> (kanzerogene Stoffe)	51,6/25,8
Anreicherungsfaktor A <sup>2)</sup>	5/10
mittlere Staubkonzentration (mg/m <sup>3</sup> an 8h/d)	0,325

<sup>1)</sup> Der Gewichtungsfaktor Z berücksichtigt den Umstand, dass die Exposition nur während der Arbeitszeit gegeben ist. Z gibt die Relation Stunden pro Jahr zu Stunden Aufenthaltsdauer im Bereich von belasteten Industrie- und Gewerbegrundstücken an.

Für nichtkanzerogene Stoffe ist  $Z = 365 \text{ d/a} * 24 \text{ h/d} / 600 \text{ h/a} = 14,6$ .

Für kanzerogene Stoffe muss die Relation Lebenszeit zu Expositionszeit berücksichtigt werden. Bei einer Arbeitszeit von 20 Jahren (entsprechend einer Expositionszeit von 12.000 h) beträgt Z 51,6, bei einer Arbeitszeit von 40 Jahren (Expositionszeit 24.000 h) ist Z 25,8.

<sup>2)</sup> Zum Anreicherungsfaktor A vgl. Tabelle B-3.

### **B-2.7 Stoffspezifische Festlegungen**

Die unterschiedliche Datenbasis und die unterschiedlichen Wirkungsmechanismen der Schadstoffe erfordern zusätzlich zur beschriebenen schematischen Ableitung der Prüfwerte eine eingehende Beurteilung jeden Stoffs. Dies geschieht im Rahmen einer sogenannten Plausibilitätsprüfung [9]. Stoffspezifische Besonderheiten ergaben sich dabei wie folgt:

- **Arsen und Verbindungen**

Die Ableitung schließt As(III)-Verbindungen und As(V)-Verbindungen ein, da eine toxikologische Betrachtung der einzelnen Oxidationsstufen keine deutlichen Toxizitätsunterschiede ergeben hat. Bei der Plausibilitätsprüfung wurde der errechnete Prüfwert für Kinderspielflächen nach Abgleich mit den Hintergrundgehalten auf 25 mg/kg erhöht.

- **Benzo(a)pyren**

Die Prüfwerte für B(a)P wurden für B(a)P als Einzelstoff abgeleitet; eine Betrachtung von B(a)P im Gemisch mit anderen PAK ist in Bearbeitung [19, 22].

- **Blei und Verbindungen**

Die Prüfwertberechnung ergab Werte im Bereich der Hintergrundhalte. Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wurde deshalb der Prüfwert auf Basis von Blutblei-Werten für Wohngebiete abgeleitet.

- **Chrom, gesamt**

Die Prüfwertableitung für Chrom ges. beinhaltet einen 40 %-igen Anteil von Chrom VI.

- **Cyanide**

Die Prüfwerte für Cyanide für die Nutzungen Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitflächen wurden im Rahmen der Plausibilitätsprüfung auf Basis der hohen akuten Toxizität (niedrigste berichtete letale Dosis) abgeleitet; diese Werte lagen niedriger als die für langfristige Exposition erhaltenen Bodenwerte.

- **Pentachlorphenol (PCP)**

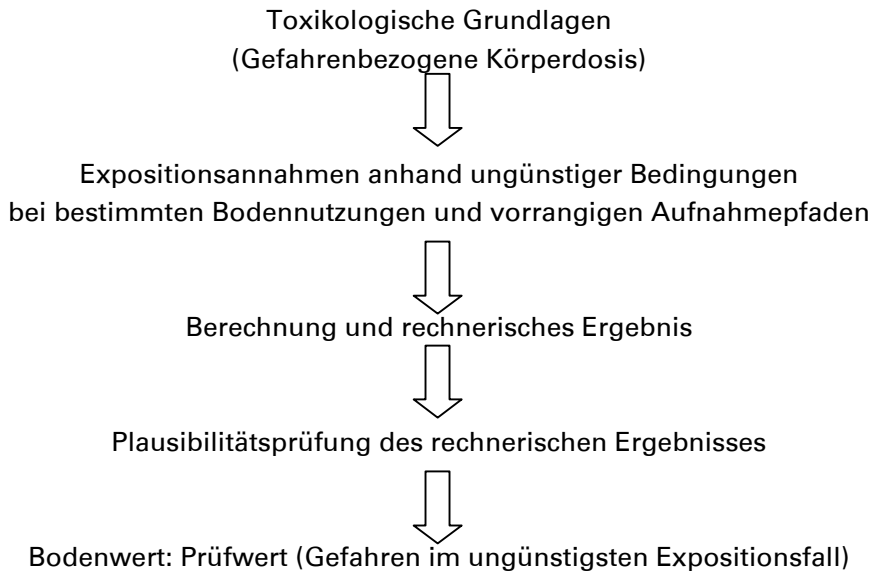
Bei PCP wurde bei der Prüfwertableitung zusätzlich die dermale Aufnahme bei direktem Bodenkontakt berücksichtigt.

- **Quecksilber**

Prüfwerte wurden für anorganisches Quecksilber und organisches Quecksilber (Quecksilbermethyl) errechnet. Der endgültige Prüfwert wurde aus den berechneten Prüfwerten für organisches und anorganisches Quecksilber festgelegt.

### B-2.8 Vorgehen bei der Ableitung von Prüfwerten

Für die Ableitung von Prüfwerten werden die folgenden Schritte vollzogen [17]:



Die Ableitung von Prüfwerten erfolgt in der Regel für den oralen und inhalativen Pfad. Der dermale Bodenaufnahme wird nur teilweise Bedeutung zugemessen:

- Für anorganische Stoffe wird die dermale Aufnahme aus dem Boden für vernachlässigbar angesehen, da für diese Stoffe im Boden eine komplexe Bindungssituation vorliegt und die meisten anorganischen Stoffe die Hautbarriere nicht überwinden können.
- Eine relevante Aufnahme durch die Haut wird nur bei organischen Stoffen mit lipophilem Charakter bei gleichzeitig nicht zu geringer Wasserlöslichkeit vermutet. Eine Überprüfung von Forschungsarbeiten und Abschätzungen für die perkutane Aufnahme ergab, dass generell die perkutane Aufnahme bei organischen Stoffen bei direktem Bodenkontakt als relevant angesehen wird. Für die Stoffe nach Anhang 2 BBodSchV liegen jedoch - mit Ausnahme von PCP, DDT, PCB und B(a)P - keine Untersuchungen vor, die eine Abschätzung möglich machen würden. Für PCP wurde die dermale Aufnahme bei direktem Bodenkontakt mit berücksichtigt.

#### **Anmerkung:**

Bei manchen Stoffen wurden die Prüfwerte im Rahmen der Plausibilitätsprüfung über einen, nicht mit einer Ableitungsformel zu erfassenden Weg modifiziert. Der im Rahmen der Sachverhaltsermittlungen zu bestimmende standortspezifische Bodenwert wird jedoch mit den ursprünglichen Ableitungsformeln errechnet und im Rahmen der anschließend durchzuführenden Plausibilitätsprüfung mit den regionalen Hintergrundgehalten abgeglichen.

#### **Beispiel:**

Für Blei errechnet sich mit der Standardmethodik für Kinderspielplätze ein Bodenwert von knapp 73 mg/kg. Dieser wird mit den Hintergrundgehalten abgeglichen und liegt im Bereich der in Siedlungsgebieten verbreiteten Bodenkonzentrationen. Über den Blutbleispiegel wird dann der derzeitige Prüfwert von 200 mg/kg festgelegt.

Im Rahmen der standortbezogenen Festlegung von Bodenwerten kann jedoch über diesen Ansatz kein Wert errechnet werden. Es muss deshalb auf die ursprüngliche Formel zurückgegriffen und der daraus resultierende Wert mit den regionalen Hintergrundgehalten abgeglichen werden.

### **B-2.9 Kriterien für die Plausibilitätsbetrachtung der rechnerischen Ergebnisse der Prüfwertableitung**

Als fachlich begründete Kriterien für die Plausibilitätsprüfung der rechnerischen Ergebnisse der Prüfwertableitung sind im *Bundesanzeiger Nr. 161a* [9] genannt:

- Prüfung, ob epidemiologische Studien die Berechnungsergebnisse stützen oder ggf. Modifizierungen nahe legen, z.B. hinsichtlich unterschiedlicher Resorptionsquoten.
- Abgleich des rechnerischen Ergebnisses mit Daten zu Hintergrundgehalten in Böden vor dem Hintergrund, dass ein Prüfwert sinnvollerweise höher liegt als die ubiquitären Gehalte. Es soll die zusätzliche, aus Bodenverunreinigungen stammende Gefahr betrachtet werden.
- Vergleich des rechnerischen Ergebnisses mit beurteilungsrelevanten humantoxikologischen Belastungsdaten (Humanbiomonitoring), sofern diese Daten Aussagen im Hinblick auf die relevanten Endpunkte zulassen.  
In die im Einzelfall einer schädlichen Bodenveränderung ausgelösten Untersuchungs- und Prüfschritte kann das Humanbiomonitoring einbezogen werden, um eine innere Belastung beim Menschen festzustellen.
- Wahl des Prüfwerts aus dem niedrigsten Ergebnis aus der parallelen Berechnung für die inhalative und ingestive Bodenaufnahme sowohl für kanzerogene als auch nichtkanzerogene Wirkung. Kommt die Berechnung für beide Pfade zu gleichen Konzentrationen, soll dieses Ergebnis durch Wahl eines niedrigeren Prüfwerts berücksichtigt werden.
- Berücksichtigung des dermalen Aufnahmepfades, ggf. in Summation mit den ingestiv aufgenommenen Schadstoffmengen.
- Abgleich mit Betrachtung zu akuten Wirkungen bei einmalig hoher Bodenaufnahme, soweit dies mit den vorliegenden Daten möglich ist. Hier wird die Prüfung der Relevanz toxischer Wirkungen bei einmalig hoher Bodenaufnahme auf Grundlage folgender Überlegungen durchgeführt:
  - einmalig hohe Bodenaufnahme von 10 g und Körpergewicht von 10 kg
  - ausgehend von der niedrigsten berichteten akut wirksamen Dosis beim Menschen wird als toxikologischer Bewertungsmaßstab ein Abstand von einem Faktor 10 zu ersten Vergiftungserscheinungen angenommen. Ergibt diese Betrachtung einen niedrigeren Wert, so wird ein niedrigerer Wert als Prüfwert festgelegt. Beispiele für diese Prüfung finden sich in [17] für Arsen und in [9] für Cyanid.
- Abgleich der Berechnungen mit Erkenntnissen zu Geruchsschwellenkonzentrationen zur Prüfung möglicher erheblicher Belästigungen (z.B. bei leichtflüchtigen Stoffen, siehe [11]).
- Hinweise auf typischerweise vorkommende gemeinsame Wirkungen mit anderen Stoffen.
- Bei der Plausibilitätsprüfung der kanzerogenen Potenz sind die Maßstäbe für die GüteEinstufung der „unit risk“ - Abschätzungen in [9] zu berücksichtigen.
- Prüfung der Abstufung zwischen den Prüfwerten für Kinderspielflächen und für Industrie- und Gewerbegrundstücke. Es wird davon ausgegangen, dass die Abstufung dann sachgerecht ist, wenn sichergestellt ist, dass es bei Einhaltung der Prüfwerte für Industrie- und Gewerbegrundstücke nicht zu sekundären Verunreinigungen auf umgebenden Flächen kommen kann, z.B. durch ungezielte und diffuse Abschwemmung oder Verwehung oder Rutschung von Bodenmaterial von den Industrie- und Gewerbeflächen.



**B-2.10 Maßnahmenwerte für die direkte Aufnahme von Dioxinen/Furanen**

Für Maßnahmenwerte wird gefordert, dass sie sich auf den für den Menschen resorptionsverfügbaren Schadstoffanteil im Boden beziehen. Methoden zur Bestimmung dieses Anteils stehen bislang jedoch nicht zur Verfügung, sie stehen erst in der Entwicklung. Daneben kann die Ableitung eines Maßnahmenwertes hilfsweise auch an der Ermittlung des Gesamtgehaltes eines Stoffes im Boden festgemacht werden, wenn die Festlegung eines Maßnahmenwertes gegenüber der Festlegung eines Prüfwertes aus Gründen der Verhältnismäßigkeit des durch einen Prüfwert ausgelösten Untersuchungsaufwandes als das vollzugsgerechtere Instrument erscheint. Dies ist bei Dioxinen/Furanen der Fall.

**B-2.11 Kombinationswirkungen**

Chemisch verwandte Stoffe können ähnliche toxische Wirkungen auf den Menschen ausüben. Für die Nitroaromaten als sprengstofftypische Verbindungen gilt dies zum Beispiel hinsichtlich Krebs erzeugender Wirkungen. Die Prüfwertableitung ist zunächst einzelstoffbezogen; Kombinationswirkungen werden nicht berücksichtigt. Unter Annahme voneinander unabhängiger, **additiver** gleichartiger Wirkungen sollte für mehrere Stoffe mit gleichem Wirkungsendpunkt – getrennt nach Stoffen mit und ohne Berücksichtigung Krebs erzeugender Wirkungen - die folgende Bedingung erfüllt sein [23]:

$$C_1/PW_1 + C_2/PW_2 + C_3/PW_3 + \dots + C_n/PW_n \leq 1$$

( $C_n$  = Konzentration von Stoff n im Boden,

$PW_n$  = einzelstoffbezogener Prüfwert von Stoff n.)

Die Bedingung wäre zum Beispiel nicht erfüllt, wenn mehrere Substanzen einer Stoffgruppe mit gleichem Wirkungsendpunkt ihren jeweiligen Prüfwert nur wenig unterschreiten.



**Anhang C:**  
**Zusammenstellung der Formeln zur Prüfwertberechnung**  
**(nach Bundesanzeiger Nr. 161a [9])**  
**für den Wirkungspfad Boden - Mensch**



## C-1 Orale Bodenaufnahme auf Kinderspielplätzen, in Wohngebieten und Park- und Freizeitanlagen

Erläuterungen zu den Begriffen finden sich im Abschnitt C-5.

### C-1.1 Prüfwert für nicht kanzerogene Wirkungen

$$\begin{aligned}
 \text{Prüfwert (mg/kg)} &= \frac{\text{Gefahrenbezogene Körperdosis}}{\text{Bodenaufnahmerate}} \\
 &= \frac{\text{Zugeführte Dosis} \cdot (\text{Gefahrenf. } F_{\text{gef}} - \text{Standartwert Hintergrund})}{\text{Bodenaufnahmerate}} \\
 &= \frac{\text{Zugeführte Dosis} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{kg} \cdot \text{d}} \right] \cdot (F_{\text{gef}} - 0,8)}{33 \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{d}}}
 \end{aligned}$$

Die Bodenaufnahmerate gilt für *Kinderspielplätze*. Die Berechnungsformeln für die Prüfwerte für die Szenarien *Wohngebiete und Park- und Freizeitanlagen* sind im Grunde genommen gleich. Für Wohngebiete verringert sich die Bodenaufnahmerate jedoch auf 16,5 mg/(kg \* d), für Park- und Freizeitanlagen auf 6,6 mg/(kg \* d).

### C-1.2 Prüfwert für kanzerogene Wirkungen

$$\begin{aligned}
 \text{Prüfwert [mg/kg]} &= \frac{\text{Gefahrenbezogene Körperdosis} \cdot \text{Expositionszeitfaktor } L}{\text{Bodenaufnahmerate}} \\
 &= \frac{\text{Dosis bei Risiko } 10^{-5} \cdot \text{Gefahrenfaktor } F_{\text{gef}} \cdot L}{\text{Bodenaufnahmerate}} \\
 &= \frac{\text{Dosis bei Risiko } 10^{-5} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{kg} \cdot \text{d}} \right] \cdot 5 \cdot 8,75}{33 \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{d}}}
 \end{aligned}$$

Die Bodenaufnahmerate gilt für *Kinderspielplätze*. Die Berechnungsformeln für die Prüfwerte für die Szenarien *Wohngebiete und Park- und Freizeitanlagen* sind im Grunde genommen gleich. Für Wohngebiete verringert sich die Bodenaufnahmerate jedoch auf 16,5 mg/(kg \* d), für Park- und Freizeitanlagen auf 6,6 mg/(kg \* d).

## C-2 Inhalative Bodenaufnahme auf Kinderspielflächen, in Wohngebieten und Park- und Freizeitanlagen

Erläuterungen zu den Begriffen finden sich im Abschnitt C-5.

### C-2.1 Prüfwert für systemische Wirkungen bei nicht kanzerogenen Stoffen

$$\begin{aligned} \text{Prüfwert [mg/kg]} &= \frac{\text{Zugeführte Dosis} \cdot (\text{Gefahrenf. } F_{\text{gef}} - \text{Standardw. Hintergrund})}{\text{Bodenaufnahmerate} \cdot \text{Anreicherungsfaktor } A} \\ &= \frac{\text{Zugeführte Dosis} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{kg} \cdot \text{d}} \right] \cdot (F_{\text{gef}} - 0,8)}{0,082 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{d}} \right] \cdot A} \end{aligned}$$

Die Bodenaufnahmerate gilt für *Kinderspielplätze*. Die Berechnungsformeln für die Prüfwerte für die Szenarien *Wohngebiete und Park- und Freizeitanlagen* sind im Grunde gleich. Für Wohngebiete verringert sich die Bodenaufnahmerate jedoch auf 0,041 mg/(kg \* d), für Park- und Freizeitanlagen auf 0,016 mg/(kg \* d).

Der Anreicherungsfaktor A (Erfahrungswert) beträgt für anorganische Stoffe 5, für organische 10 [9].

### C-2.2 Prüfwert für lokale Wirkungen bei respirationstoxischen Stoffen (nicht kanzerogen)

$$\begin{aligned} \text{Prüfwert [mg/kg]} &= \frac{\text{Referenzkonzentration RK} \cdot F_{\text{gef}} \cdot \text{Gewichtungsfaktor } G}{\text{Staubkonzentration} \cdot \text{Anreicherungsfaktor } A} \\ &= \frac{\text{RK} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{m}^3} \right] \cdot F_{\text{gef}} \cdot 18,25}{1 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \cdot A} \end{aligned}$$

### C-2.3 Prüfwert für systemische Wirkungen bei kanzerogenen Stoffen

$$\text{Prüfwert [mg/kg]} = \frac{\text{Dosis bei Risiko } 10^{-5} \cdot F_{\text{gef}} \cdot \text{Expositionszeitfaktor } L}{\text{Bodenaufnahmerate} \cdot \text{Anreicherungsfaktor } A}$$

### C-2.4 Prüfwert für lokale Wirkungen bei respirationstoxischen Stoffen (kanzerogen)

$$\begin{aligned} \text{Prüfwert [mg/kg]} &= \frac{\text{Luftkonz. bei Risiko } 10^{-5} \cdot F_{\text{gef}} \cdot \text{Gewichtungsf. } G \cdot \text{Expositionszeitf. } L}{\text{Staubkonzentration} \cdot \text{Anreicherungsfaktor } A} \\ &= \frac{\text{Luftkonz. bei Risiko } 10^{-5} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{m}^3} \right] \cdot 5 \cdot 18,25 \cdot 8,75}{1 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \cdot A} \end{aligned}$$

### C-3 Inhalative Bodenaufnahme auf Industrie- und Gewerbeflächen

Erläuterungen zu den Begriffen finden sich im Abschnitt C-5.

#### C-3.1 Prüfwert für systemische Wirkung bei nicht kanzerogenen Stoffen

$$\begin{aligned} \text{Prüfwert [mg/kg]} &= \frac{\text{TRDanaloge Konz.} \cdot (F_{\text{gef}} - \text{Hintergrund}) \cdot \text{Gewichtungsfaktor Z}}{\text{Staubkonzentration} \cdot \text{Anreicherungsfaktor A}} \\ &= \frac{\text{TRDanaloge Konz.} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{m}^3} \right] \cdot (F_{\text{gef}} - 0,8) \cdot 14,6}{0,325 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \cdot A} \end{aligned}$$

#### C-3.2 Prüfwert für lokale Wirkung bei respirationstoxischen Stoffen (nicht kanzerogen)

$$\begin{aligned} \text{Prüfwert [mg/kg]} &= \frac{\text{Referenzkonzentration RK} \cdot F_{\text{gef}} \cdot \text{Gewichtungsfaktor Z}}{\text{Staubkonzentration} \cdot \text{Anreicherungsfaktor A}} \\ &= \frac{\text{RK} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{m}^3} \right] \cdot F_{\text{gef}} \cdot 14,6}{0,325 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \cdot A} \end{aligned}$$

#### C-3.3 Prüfwert für systemische Wirkung und lokale Wirkungen bei kanzerogenen Stoffen

$$\begin{aligned} \text{Prüfwert [mg/kg]} &= \frac{\text{Luftkonz. bei Risiko } 10^{-5} \cdot F_{\text{gef}} \cdot \text{Gewichtungsfaktor Z}}{\text{Staubkonzentration} \cdot \text{Anreicherungsfaktor A}} \\ &= \frac{\text{Luftkonz. bei Risiko } 10^{-5} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{m}^3} \right] \cdot F_{\text{gef}} \cdot 51,6 \text{ (bzw. } 25,8)}{0,325 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \cdot A} \end{aligned}$$

### C-4 Dermaler Bodenkontakt und perkutane Aufnahme

Die perkutane Aufnahme bei dermalen Bodenkontakt wird mit der Formel zur oralen Bodenaufnahme errechnet. Es wird allerdings eine eigene Bodenaufnahmerate bestimmt, die sich aus Körperoberfläche, Bodenschichtdicke, dermalen Resorption und Körpergewicht errechnet [9].

### C-5 Erläuterungen zu den Formeln

- Der **Anreicherungsfaktor A** berücksichtigt die Anreicherung von Schadstoffen in der Feinfraktion (Staub). Für anorganische Stoffe ist A=5, für organische Stoffe ist A=10.
- Die **Bodenaufnahmerate für die orale Belastung** errechnet sich über:

$$\text{Bodenaufnahmerate} = \frac{\text{Tägl. orale Bodenaufnahme} \cdot \text{Aufenthaltszeit}}{\text{Frequenz} \cdot \text{Körpergewicht}}$$

$$\begin{aligned} \text{- Für Kinderspielplätze} &= \frac{500 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{d}} \right] \cdot 240 \left[ \frac{\text{d}}{\text{a}} \right]}{365 \left[ \frac{\text{d}}{\text{a}} \right] \cdot 10 \left[ \text{kg} \right]} \\ &= 33 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d}) \end{aligned}$$

- Für *Wohngebiete* ergeben sich mit der Annahme einer um den Faktor 2 geringeren täglichen Bodenaufnahme 16,5 mg/(kg \* d),
- für *Park- und Freizeitanlagen* (Faktor 5) 6,6 mg/(kg \* d).

- Die **Bodenaufnahme für inhalative Belastung** errechnet sich über:

$$\text{Bodenaufnahmerate} = \frac{\text{Staubkonzentration der Luft} \cdot \text{Atemvolumen} \cdot \text{Aufenthaltsdauer}}{\text{Frequenz} \cdot \text{Körpergewicht}}$$

$$\begin{aligned} \text{- Für Kinderspielplätze} &= \frac{1 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0,625 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot 2 \left[ \frac{\text{h}}{\text{d}} \right] \cdot 240 \left[ \frac{\text{d}}{\text{a}} \right]}{365 \left[ \frac{\text{d}}{\text{a}} \right] \cdot 10 \left[ \text{kg} \right]} \\ &= 0,082 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d}) \end{aligned}$$

- Für *Wohngebiete* ergeben sich mit der Annahme einer um den Faktor 2 geringeren täglichen Bodenaufnahme 0,041 mg/(kg \* d),
- für *Park- und Freizeitanlagen* (Faktor 5) 0,016 mg/(kg \* d).

- Die **Bodenaufnahme für dermale Belastung** (vgl. auch C-4) errechnet sich über die Formel:

$$\text{Bodenaufnahmerate} = \frac{\text{Körperoberfläche} \cdot \text{Bodenschichtdicke} \cdot \text{Resorption}}{\text{Körpergewicht}}$$

$$\begin{aligned} \text{- Für Kinderspielplätze} &= \frac{2100 \left[ \text{cm}^2 \right] \cdot 1,7 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2} \right] \cdot 0,05 \left[ \frac{1}{\text{d}} \right]}{10 \left[ \text{kg} \right]} \\ &= 17,85 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d}) \end{aligned}$$

Die dermale Exposition wird ggf. durch Summation der Bodenaufnahmeraten von oraler und dermaler Exposition berücksichtigt [11].

- Der **Expositionszeitfaktor L** wird eingeführt, um das Krebsrisiko der Zeit, in der bei Kindern hauptsächlich eine Bodenaufnahme erfolgt (die ersten acht Lebensjahre), auf die Gesamtlebenszeit von 70 Jahren hochzurechnen, mit  $L = 70\text{a}/8\text{a} = 8,75$ .
- Der **gefahrenverknüpfende Faktor** bestimmt sich aus dem geometrischen Mittel der humanrelevanten Sicherheitsfaktoren, die bei der TRD-Wert - Ableitung verwendet wurden, mit:

$$F_{\text{gef}} = \sqrt{\text{SF}_c \cdot \text{SF}_d}$$

$\text{SF}_c$  und  $\text{SF}_d$  werden ggf. durch andere Sicherheitsfaktoren ergänzt bzw. ersetzt.

- Der **Gefahrenfaktor F** bei kanzerogenen Stoffen wurde mit 5 festgelegt.
- Der **Gewichtungsfaktor G** kommt bei der Prüfwertableitung für jene Stoffe zur Anwendung, für welche die lokale Wirkung im Atemtrakt (berücksichtigt durch die Referenzkon-



zentration RK; vgl. B-2.1) bewertungsrelevant ist. Der Gewichtungsfaktor berücksichtigt die anteilige Aufenthaltszeit und errechnet sich aus  $G = 24\text{h}/2\text{h} * 365\text{d}/240\text{d} = 18,25$ .

- Der **Gewichtungsfaktor Z** berücksichtigt den Umstand, dass die Exposition nur während der Arbeitszeit gegeben ist. Z gibt die Relation Stunden pro Jahr zu Stunden Aufenthaltsdauer im Bereich von belasteten Industrie- und Gewerbegrundstücken an.
  - Für **nicht kanzerogene** Stoffe ist  $Z = 365\text{d}/a * 24 \text{ h/d} / 600 \text{ h/a} = 14,6$ .
  - Für **kanzerogene** Stoffe muss die Relation Lebenszeit zu Expositionszeit berücksichtigt werden. Bei einer Arbeitszeit von 20 Jahren (entsprechend 12.0000 h) beträgt Z 51,6, bei einer Arbeitszeit von 40 Jahren (24.000 h) ist Z 25,8.
- Die Regelannahme für die Berücksichtigung der **Hintergrundbelastung** liegt bei 0,8 (80 %).
- Die **Referenzkonzentration RK** kennzeichnet die zulässige Luftkonzentration, die bei Stoffen mit lokaler Wirkung im Atemtrakt herangezogen wird.
- Die **Staubkonzentration auf Industrie- und Gewerbegebieten** wurde aus U.S.-amerikanischen und niederländischen Arbeiten abgeleitet.
- Die **TRD-analoge Konzentration** ist die dem TRD-Wert für langfristige inhalative Exposition entsprechende Luftkonzentration bei systemischen Wirkungen, bzw. im Falle von Stoffen mit lokaler Wirkung auf den Atemtrakt die Referenzkonzentration RK.
- Die **zugeführte Dosis** ergibt sich aus der Berücksichtigung der Resorptionsquote, mit:

$$\text{Zugeführte Dosis} = \frac{\text{TRD}}{\text{Resorptionsquote}} \quad \text{z.B.} = \frac{\text{TRD}}{0,5} \quad (\text{bei } 50 \% \text{ Resorption}).$$