



## **Merkblatt Nr. 3.8/8**

**Stand: 05/2023**

**alte Nummer: Altlasten 1 und Altlasten 2**

Ansprechpartner: Referat 96

# **Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Boden- veränderungen**

Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) und  
Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluf

### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Allgemeine Hinweise</b>	<b>3</b>
1.1	Ziel und Anwendungsbereich	3
1.2	Qualitätssicherung	3
1.3	Begriffe und Definitionen	3
<b>2</b>	<b>Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)</b>	<b>5</b>
2.1	Untersuchung	7
2.1.1	Orientierende Untersuchung	7
2.1.2	Detailuntersuchung	7
2.2	Bewertung	10
2.2.1	Prüf- und Maßnahmenwerte	10
2.2.2	Ergänzende Hinweise zur Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte	10
2.2.3	Einzelfallspezifische Beurteilungswerte (eBW)	11
<b>3</b>	<b>Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluf</b>	<b>14</b>
3.1	Untersuchung	16
3.1.1	Orientierende Untersuchung	16
3.1.2	Detailuntersuchung	16
3.2	Bewertung	17
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>19</b>

<b>Anhang 1: Expositionsannahmen und einzelfallspezifische Beurteilungswerte für PAK</b>	<b>21</b>
<b>Anhang 2: Prüf- und Maßnahmenwerte</b>	<b>27</b>
<b>Anhang 3: Orientierungswerte</b>	<b>29</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ablauf der Altlastenbearbeitung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)	6
Abb. 2: Resorptionsverfügbarkeit und Bioverfügbarkeit im Hinblick auf oral aufgenommene Schadstoffe; in Anlehnung an (UBA 2002)	8
Abb. 3: Ablauf der Altlastenbearbeitung für das Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft	15

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: PAK-Abkürzungen	21
Tab. 2: Vergleich der Minimal- und Maximalwerte im PAK-Muster (niedermolekulare PAK) an typischen Standorten, normiert auf BaP (BaP = 1, nach LfU R-P (2001) und FoBiG (1999)).	22
Tab. 3: Vergleich der Minimal- und Maximalwerte im PAK-Muster (höhermolekulare PAK) an typischen Standorten, normiert auf BaP (BaP = 1, nach LfU R-P (2001) und FoBiG (1999)).	22
Tab. 4: Obergrenzen für maximale PAK-Anteile, normiert auf BaP = 1	23
Tab. 5: Resorptionsverfügbarkeit relevanter PAK-Einzelparameter (höhermolekulare PAK)	25
Tab. 6: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch (gem. Anlage 2, Tab. 4 BBodSchV)	27
Tab. 7: Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch (gem. Anlage 2, Tab. 5 BBodSchV)	28
Tab. 8: Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen) bei Untersuchungen des Bodenfeststoffes (gem. LABO (2008))	29
Tab. 9: Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte (stoffbezogene Berechnungen) für Einzelfallprüfungen bei Rüstungsallasten (Stoffe ohne TRD-Wert) (gem. LABO (2008))	30
Tab. 10: Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe in der Bodenluft (gem. LABO (2008))	31
Tab. 11: Beurteilungswerte für ausgewählte Schadstoffe in der Innenraumluft	32

## 1 Allgemeine Hinweise

### 1.1 Ziel und Anwendungsbereich

Dieses Merkblatt konkretisiert die in Bayern für die Bearbeitung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen geltenden Regelungen, wie das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), das Bayerische Bodenschutzgesetz (BayBodSchG) und die Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern (BayBodSchVwV).

Das Merkblatt gibt Hinweise für die Untersuchung und Bewertung von Altlasten und stofflichen schädlichen Bodenveränderungen sowie deren Verdachtsflächen für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) und das Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft. Die Hinweise beziehen sich auf die Bearbeitungsphasen Orientierende Untersuchung (BayBodSchVwV Nr. 4.1.1.4) und Detailuntersuchung (BayBodSchVwV Nr. 4.1.2.2) von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen.

Den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) und das Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft beurteilt die Gesundheitsverwaltung der Kreisverwaltungsbehörde.

### 1.2 Qualitätssicherung

Sachverständige und Untersuchungsstellen, die Aufgaben nach dem BBodSchG wahrnehmen, müssen gemäß § 18 BBodSchG bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Die entsprechende Zulassung nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbearbeitung in Bayern (VSU) erfolgt durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU). Nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen sind auf der Internetseite [www.resymesa.de](http://www.resymesa.de) bekannt gegeben.

Im Rahmen der Amtsermittlung sind von den Wasserwirtschaftsämtern ausschließlich nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen zu beauftragen.

Das LfU empfiehlt zur Gewährleistung einer hinreichenden Qualitätssicherung und damit eines effizienten und zügigen Verfahrens auch in den übrigen Verfahrensschritten (Detailuntersuchung, Sanierungsuntersuchung, Sanierungsplanung, Sanierung, Eigenkontrollmaßnahmen) nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen zu beauftragen. Die zuständige Bodenschutzbehörde kann dies nach § 9 Abs. 2 Satz 2, § 13 Abs. 2 und § 15 Abs. 2 Satz 5 BBodSchG von der bzw. dem Pflichten verlangen.

### 1.3 Begriffe und Definitionen

#### Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte

Orientierungswerte für rüstungsspezifische Parameter sowie für chemische Kampfstoffe und deren Abbauprodukte, die den Ländern von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) im Informationsblatt für den Vollzug zur Verfügung gestellt wurden (LABO 2008). Die Werte für rüstungsspezifische Parameter haben aufgrund der verwendeten eingeschränkten Datenbasis nicht die gleiche rechtliche Verbindlichkeit wie die Prüfwerte nach BBodSchV. Für chemische Kampfstoffe und deren Abbauprodukte ist aufgrund der akuten Wirkung bei kurzfristiger Exposition keine Nutzungsdifferenzierung möglich und deshalb nur ein Bodenorientierungswert angegeben.

#### Einzelfallspezifischer Beurteilungswert (eBW)

Der eBW stellt die im jeweiligen Einzelfall unter Berücksichtigung der tatsächlichen Expositionsbedingungen beurteilungsrelevante Schadstoffkonzentration dar. Im Fall  $eBW < \text{Prüfwert}$  stellt er den gefahrenausschließenden, im Fall  $eBW > \text{Prüfwert}$  den gefahrenbestätigenden Wert für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) dar.

## Expositionsbedingungen

Durch örtliche Umstände und die Grundstücksnutzung im Einzelfall geprägte Art und Weise, in der Schutzgüter der Wirkung von Schadstoffen oder physikalischen Einwirkungen ausgesetzt sein können (§ 2 Nr. 12 BBodSchV).

- **Bodenabhängige Expositionsbedingungen**  
Einflussfaktoren des Bodens, der Schadstoffbindung an den Boden oder die Art des Vorkommens des Schadstoffes auf die Exposition. Diese haben Auswirkungen, z. B. auf die Resorptionsverfügbarkeit, Pflanzenverfügbarkeit und Anreicherung in der Feinkornfraktion < 63 µm.
- **Nutzungsabhängige Expositionsbedingungen**  
Expositionsbedingungen, die durch die spezifische Flächennutzung gegeben sind, z. B. verminderte Bodenaufnahme durch Flächenversiegelung oder Aufenthaltshäufigkeiten bedingt durch die Nutzungsgewohnheiten der Nutzer.

## Maßnahmenwerte

Nach § 8 Abs. 1 Nr. 2 BBodSchG Werte für Einwirkungen oder Belastungen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung i. d. R. von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind.

## Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe

Stoffbezogene Berechnungen der LABO bei Untersuchungen des Bodenfeststoffs, die nicht ausschließlich auf Grundlage der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe gemäß § 15 Abs. 4 BBodSchV erfolgten bzw. Bewertungshinweise der LABO für Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft bezüglich einer Anreicherung in der Innenraumluft (Szenario „Wohngebiete“).

## Prüfwerte

Nach § 8 Abs. 1 Nr. 1 BBodSchG Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt.

## Resorbierter Anteil

Charakterisiert jenen Anteil an der Gesamtkonzentration eines (Schad-)Stoffes, der tatsächlich in den Körper aufgenommen wurde.

## Resorption

Aufnahme von Stoffen über die Haut oder Schleimhaut (Magen-Darm-Trakt, Atmungsorgane) in den Körper (Blut, Lymphe, Gewebe).

## Resorptionsverfügbarkeit (RV)

Kennzeichnet jenen Anteil an der Gesamtkonzentration eines Stoffes, der für den Resorptionsvorgang verfügbar ist. Bodenbestandteile können die Resorptionsverfügbarkeit beeinflussen, wobei i. d. R. mit einer Verringerung zu rechnen ist (z. B. Adsorption an Bodenpartikel), unter Umständen aber auch mit einer Erhöhung (z. B. Bodeninhaltsstoffe als „Vehikel“). Die Resorptionsverfügbarkeit ist nach der DIN 19738 zu bestimmen.

## Sorption

Sammelbezeichnung für die selektive Bindung (Anreicherung) / Aufnahme eines Stoffes (Sorbativ) an/durch einem/n anderen Stoff (Sorbens), das Bindungssystem (z. B. Schadstoffe an Bodenpartikeln) wird als Sorbat bezeichnet.

## Transfer- bzw. Verdünnungsfaktor

Verhältnis der gemessenen oder berechneten Konzentrationen eines Schadstoffes zwischen der Bodenluft und einem definierten Luftbereich (z. B. Innenraum, Keller).

## 2 Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)

Ein direkter Kontakt mit dem Boden kann durch die alltägliche Nutzung wie Sport, Spielen, Wohnen und Arbeiten stattfinden. Dabei steht beim Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) die orale Aufnahme insbesondere bei Kleinkindern auf Kinderspielflächen, Wohngebieten sowie Park- und Freizeitanlagen, und die inhalative Aufnahme von aufgewirbelten Bodenpartikeln vor allem bei Erwachsenen auf Industrie- und Gewerbegrundstücken im Vordergrund (UBA 1999b). Auch bei den drei erstgenannten Szenarien kann die inhalative Aufnahme über aufgewirbelten Staub eine Rolle spielen, wenn Substanzen wie Chrom<sup>VI</sup> in erhöhten Konzentrationen auftreten. Das ist bei den Untersuchungen entsprechend zu berücksichtigen (§§ 19, 20 und 22 BBodSchV).

Neben dem Verschlucken und Einatmen von Bodenmaterial kann bei einzelnen Substanzen auch die Aufnahme über die Haut eine Rolle spielen. Für anorganische Schadstoffe wird dieser Aufnahmepfad als vernachlässigbar angesehen, für besonders gut hautgängige organische Substanzen wie z. B. Benzo(a)pyren (BaP) oder sprengstofftypische Verbindungen (TNT, 2,4-Dinitrotoluol, 2,6-Dinitrotoluol, Hexyl, Nitropenta) wurde dies dagegen bei der Prüfwertableitung bzw. der Berechnung orientierender Hinweise berücksichtigt (UBA 1999b).

Abb. 1 zeigt die erforderlichen Untersuchungen und Maßnahmen, die sich bei einem Verdacht auf Altlasten und schädliche Bodenveränderungen bei der Untersuchung und Bewertung des Wirkungspfades Boden-Mensch (direkter Kontakt) ergeben. Die Untersuchung von Altlastverdachtsflächen erfolgt schrittweise und richtet sich nach der Bearbeitungsphase, dem Schadstoffspektrum sowie der vermuteten horizontalen und vertikalen Schadstoffverteilung.

Die Planung und Durchführung der Orientierenden Untersuchung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) erfolgt dabei im Rahmen der Amtsermittlung in Amtshilfe durch die Wasserwirtschaftsämter in enger Abstimmung mit der Gesundheitsverwaltung.

Für die Detailuntersuchung zur abschließenden Gefährdungsabschätzung sind die von der zuständigen Behörde bestimmten Untersuchungspflichtigen verantwortlich.

Die Beurteilung der Ergebnisse aus Orientierender Untersuchung und Detailuntersuchung erfolgt durch die Gesundheitsverwaltung.

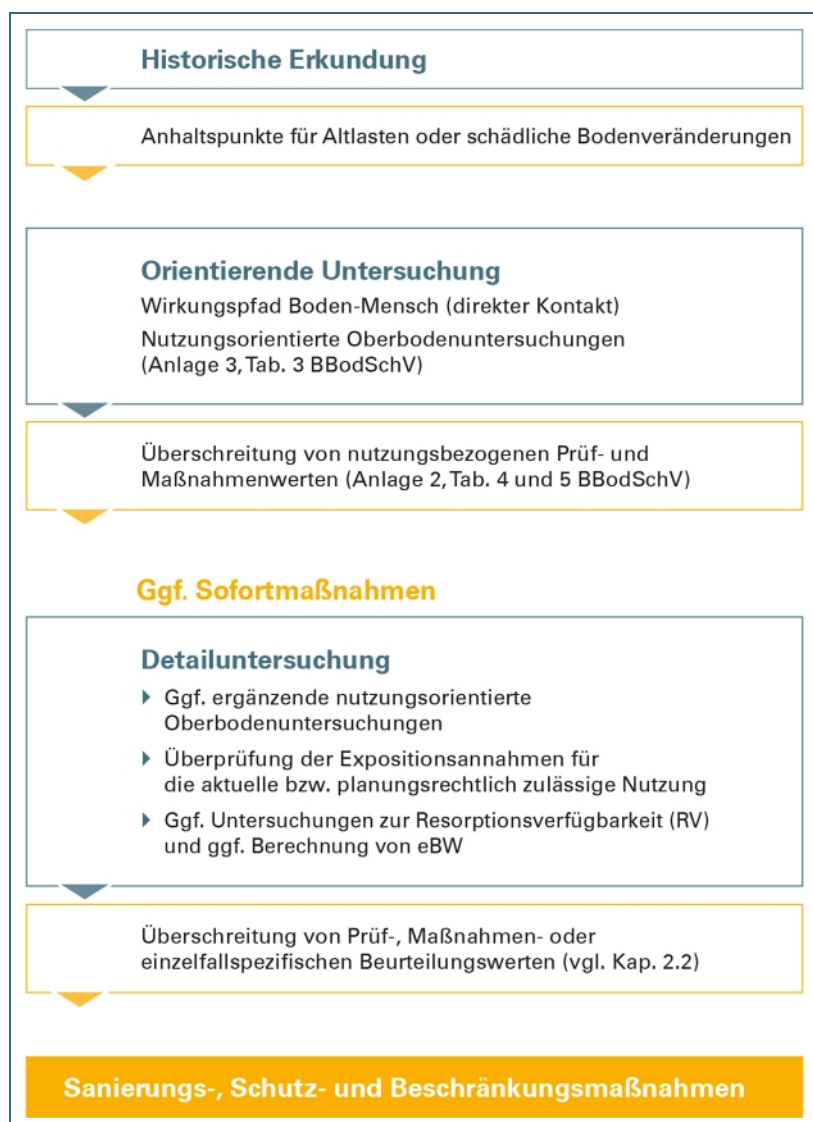


Abb. 1:  
 Ablauf der Altlastenbearbeitung für  
 den Wirkungspfad Boden-Mensch  
 (direkter Kontakt)

Bei der Ausweisung und Überplanung von Flächen im Rahmen der Bauleitplanung sind § 1 Abs. 6 Nr. 1 des Baugesetzbuches (BauGB) und im Baugenehmigungsverfahren der Mustererlass zur Berücksichtigung von Bodenbelastungen (ARGEBAU 2001) zu beachten. Der Mustererlass enthält auch Ausführungen für Baugenehmigungsverfahren. Danach wird die Unterschreitung von Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) dem Anspruch des Baugesetzbuches nach gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnissen am ehesten gerecht. Dabei sind im Rahmen der Bauleitplanung ggf. auch Bodenluftbelastungen zu berücksichtigen.

Neben bodenbezogenen Untersuchungen können von den Gesundheitsbehörden ggf. ergänzende Untersuchungen zur intrakorporalen Schadstoffbelastung von Anwohnern und Nutzern, insbesondere von Kindern, die auf den kontaminierten Flächen leben und im Freien spielen, durchgeführt werden (Humanbiomonitoring).

Die Durchführung eines Humanbiomonitorings ist nicht Teil der bodenschutzrechtlichen Untersuchungen und Maßnahmen. Die Durchführung eines Humanbiomonitorings kann daher nicht von der bzw. dem Pflichtigen nach BBodSchG gefordert werden. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen können in die Beurteilung des Einzelfalls einfließen (vgl. Kap. 2.5 in UBA 1999b).

## 2.1 Untersuchung

### 2.1.1 Orientierende Untersuchung

Schwerpunkt des Beprobungsplans für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) ist die nutzungsorientierte Beprobung des Oberbodens. Bei der Untersuchung zum Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) sind gemäß § 11 Abs. 2 BBodSchV als Nutzungen zu unterscheiden: Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke. Die nutzungsorientierten Beprobungstiefen sind der Anlage 3, Tab. 3 der BBodSchV zu entnehmen.

Hinweise für die Probenahmeplanung und -durchführung (geeignete Probenahmeverfahren, Anzahl der Beprobungspunkte im Bereich vermuteter Kontaminationsschwerpunkte, Herstellung von Mischproben) werden im Merkblatt 3.8/4 gegeben. Bei fehlenden Hinweisen auf mögliche Schadstoffparameter können branchenspezifische Leitparameter aus der BayBodSchVwV, Anhang 2, Teil 2, Tab. 2 und 3 herangezogen werden.

Im Untersuchungsbericht muss eine klare Aussage getroffen werden, ob konkrete Anhaltspunkte für einen hinreichenden Verdacht vorliegen oder ob der Verdacht ausgeräumt ist (§ 9 Abs. 1 BBodSchG, siehe auch Kap. 2.2 und 3.2). Liegen konkrete Anhaltspunkte für einen hinreichenden Verdacht vor, ist im Rahmen der Orientierenden Untersuchung (OU) ein Untersuchungskonzept für die Detailuntersuchung (DU) zu erstellen und zusammen mit dem Abschlussbericht vorzulegen. Im Falle zu befürchtender akuter Wirkungen von Schadstoffen (z. B. Cyanide, Arsen) auf die menschliche Gesundheit oder aufgrund der Höhe der vorkommenden Schadstoffgehalte, sind den nachfolgenden Untersuchungsschritten ggf. Sofortmaßnahmen (z. B. Abspermaßnahmen, Zutrittsbeschränkungen) voranzustellen.

### 2.1.2 Detailuntersuchung

Die Detailuntersuchung umfasst für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) die Ermittlung der räumlichen Ausdehnung und der Verfügbarkeit der Schadstoffe sowie die Ermittlung der Exposition der Schutzgüter. In der Detailuntersuchung erfolgt eine vertiefte Untersuchung und Abgrenzung der Schadstoffbelastungen nach § 13 BBodSchV mit dem Ziel, eine abschließende Gefährdungsabschätzung zu ermöglichen. Die zuständige Bodenschutzbehörde entscheidet auf Grundlage der Ergebnisse aus der Detailuntersuchung über die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 7 BBodSchG zur Sanierung oder Sicherung der Schadstoffquelle im Boden und/oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 8 BBodSchG; Sanierungsmaßnahmen sind nach § 4 Abs. 3 BBodSchG von der bzw. dem Pflichtigen durchzuführen.

Von einer Detailuntersuchung kann nach § 10 Abs. 5 Satz 2 BBodSchV 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 Detailuntersuchung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) können im Einzelfall aber weitere Sachverhaltsermittlungen erforderlich werden, die der Prüfung dienen, ob die bei der Prüfwertableitung zugrunde gelegten Expositionsannahmen für den zu betrachtenden Einzelfall zutreffen (UBA 1999b).

Hinweise zu den im Rahmen der Detailuntersuchung ggf. durchzuführenden weiteren Sachverhaltsermittlungen gibt die BBodSchV in § 13 und in § 10 Abs. 6. Hier wird neben der Abgrenzung der belasteten Flächen auf die Möglichkeit der Ausbreitung flüchtiger Stoffe aus einer belasteten Fläche hingewiesen (siehe hierzu Kap. 3). Als weitere Sachverhaltsermittlung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) wird die Klärung der maßgeblichen Expositionsbedingungen genannt (vgl. § 13 Abs. 3 BBodSchV). In den im Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28. August 1999 beschriebenen Methoden und Maßstäben (UBA 1999b) wird zudem die Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit als wesentliche methodische Voraussetzung für die Ermittlung von Maßnahmenwerten genannt.

Zur Überprüfung der ggf. im Einzelfall erforderlichen Ermittlung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen bieten sich z. B. Untersuchungen der Resorptionsverfügbarkeit an. Für nutzungsabhängige Expositions-betrachtungen sind Daten zur Ermittlung der Bodenaufnahme sowie zur Expositionshäufigkeit und -dauer hilfreich.

Die möglichen Variablen zur Ermittlung der boden- und nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen, die bei der Ableitung einzelfallspezifischer Beurteilungswerte (eBW) ggf. berücksichtigt werden können, sind nachstehend aufgeführt.

Die ggf. im Einzelfall erforderliche Ermittlung und Anwendung der boden- und nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen ist in der LABO-Arbeitshilfe „Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung“ ausführlich erläutert (LABO 2020). Unter Expositionsabschätzung wird in der vorliegenden Arbeitshilfe die Abschätzung der verfügbaren Menge eines Stoffes verstanden, der ein Mensch unter den Bedingungen des betrachteten Einzelfalls ausgesetzt sein kann.

### Resorptionsverfügbarkeit der Schadstoffe

Die Resorptionsverfügbarkeit bezeichnet den Anteil der für die Aufnahme in den Körper zur Verfügung stehenden Menge an der Gesamtmenge der Schadstoffe in der vorliegenden Matrix. Durch ergänzende Untersuchungen kann ggf. belegt werden, dass die Schadstoffe in schlecht resorbierbarer Form vorliegen. Dabei wird im Labor bestimmt, inwieweit oral aufgenommene Schadstoffe im Magen-Darm-Trakt freigesetzt werden, um über die Schleimhäute in den Stoffwechsel aufgenommen werden zu können. Das Verfahren ist in der DIN 19738 geregelt und kann für eine Vielzahl anorganischer (z. B. Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Quecksilber, Thallium oder auch Radionuklide) und organischer Stoffe (z. B. PAK, PCB, HCB, PCDD/PCDF, HCH, DDT) angewandt werden. Grundlage ist die Erkenntnis, dass von dem an den Bodenpartikeln anhaftenden oder in die Bodenmatrix eingebundenen Schadstoffinventar im Verdauungstrakt nur ein gewisser Anteil durch Lösungs- oder Desorptionsprozesse freigesetzt wird und so für eine anschließende Resorption überhaupt zur Verfügung steht. Von den freigesetzten Anteilen kann wiederum nur eine gewisse Menge in Gewebe oder Körperflüssigkeiten aufgenommen werden; davon kann wiederum nur ein gewisser Anteil schädliche Wirkungen herbeiführen (vgl. Abb. 2).

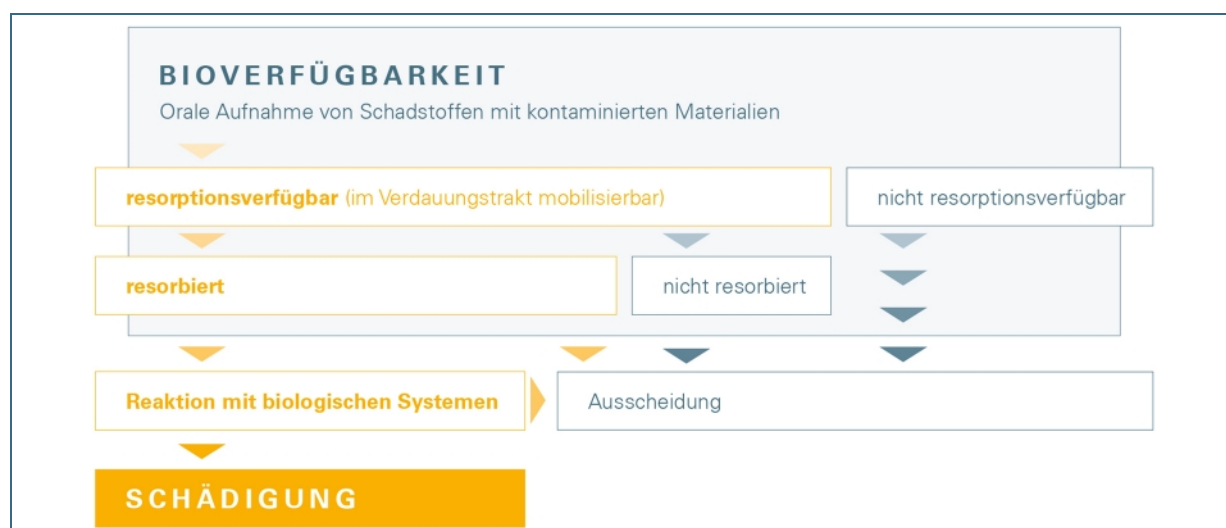


Abb. 2: Resorptionsverfügbarkeit und Bioverfügbarkeit im Hinblick auf oral aufgenommene Schadstoffe; in Anlehnung an (UBA 2002)

### Stoffspezifische Bindungsformen

Im Hinblick auf eine spezifische Toxizität ist insbesondere die Bestimmung von Chrom<sup>VI</sup> oder von organischem Quecksilber von Relevanz. Sechswertiges Chrom (Chrom<sup>VI</sup>) ist wesentlich toxischer als dreiwertiges Chrom (Chrom<sup>III</sup>) und auch organische Quecksilberverbindungen weisen eine erhöhte Toxizität auf.



Dies ist in den Prüfwerten der BBodSchV bereits berücksichtigt, im Einzelfall können dennoch die entsprechend für Chrom<sup>VI</sup> bzw. organisches Quecksilber berechneten Prüfwerte von Relevanz sein (UBA 1999b).

### **Relevanz einer inhalativen Aufnahme bzw. Schadstoffanreicherung in der Feinkornfraktion**

Für bestimmte partikulär gebundene Schadstoffe wie Chrom<sup>VI</sup>, Kobalt oder Nickel steht der inhalative Aufnahmepfad im Vordergrund. Deshalb sind hier die Intensität und Dauer der Aufnahme kontaminierten Staubs sowie Unterschiede im Schadstoffgehalt zwischen Fein- und Gesamtstaub (Standardszenario für eingeatmeten Feinstaub: Anreicherungsfaktor 5 für umweltrelevante Metalle und Halbmetalle und 10 für organische Stoffe) von Relevanz. Ggf. sind auch standort- oder klimatisch bedingte geringere Staubfreisetzungen (Standardannahme: 1 mg/m<sup>3</sup> Luft) zu berücksichtigen.

### **Bodenaufnahmemenge/-rate und Zugänglichkeit des Bodens**

Die aufnehmbare Schadstoffmenge wird neben der Nutzungsform auch durch den Zustand der kontaminierten Fläche sowie durch die horizontale und vertikale Verteilung der Schadstoffe bestimmt. Der Versiegelungsgrad und die Art der Versiegelung oder der Bodenbedeckung durch Bewuchs können zu einer Verringerung der Schadstoffaufnahme beitragen; im Einzelfall kann dies eine vollständige Unterbindung eines Direktkontaktes bedeuten.

### **Aufenthaltsdauer**

Die Aufenthaltsdauer (Stunden pro Tag) und die Aufenthaltshäufigkeit (Tage pro Jahr) auf der zu beurteilenden Fläche ist von der tatsächlichen Nutzung einer Fläche abhängig und kann daher von den jeweiligen Standardannahmen abweichen (UBA 1999b).

### **Existenz und Relevanz anderer Wirkungspfade**

Neben der Direktaufnahme von Schadstoffen kann z. B. in Hausgärten auch die indirekte Aufnahme über angebaute Nutzpflanzen einen zusätzlich relevanten Aufnahmeweg darstellen.

### **Mischexposition und Kombinationswirkungen**

Unter Mischexposition ist die gleichzeitige Exposition des Menschen gegenüber verschiedenen Schadstoffen oder Schadstoffgemischen zu verstehen. Kombinationswirkungen sind anzunehmen, wenn verschiedene Schadstoffe (z. B. Nitroaromaten) am selben Wirkendpunkt ansetzen (z. B. Sauerstofftransport im Blut) und sich in ihrer Wirkung entweder ergänzen, potenzieren oder möglicherweise auch abschwächen. Da bislang keine methodischen Grundsätze zur Bewertung vorliegen, ist hier im Einzelfall zu entscheiden und ggf. die Expertise aus dem medizinisch/umwelthygienischen Bereich einzuholen.

Beim Szenario Industrie- und Gewerbegrundstücke steht aufgrund der Expositionsannahmen der inhalative Aufnahmepfad von Erwachsenen im Vordergrund. Deshalb sind hier in erster Linie

- die angenommene Expositionsdauer (Stunden pro Tag, Tage pro Jahr),
- der Anteil atembaren Staubs bzw. die Staubkonzentration in der Atemluft sowie
- die Art der das Atemvolumen bestimmenden Tätigkeit (schwere Arbeit erhöht das angenommene Atemvolumen)

zu bewerten.

Die abschließende Beurteilung der Untersuchungsergebnisse erfolgt durch die Bodenschutzbehörde. Diese stützt sich dabei vor allem auf die Bewertung des zugelassenen Sachverständigen und der Gesundheitsbehörde. Eine Beteiligung der Gesundheitsbehörde im Sinne einer Plausibilitätsprüfung ist grundsätzlich zu empfehlen, da die Gesundheitsbehörden nach Nr. 4.1.5 BayBodSchVwV bei der Beurteilung der Sanierung und Entlassung der Altlast einbezogen werden müssen.

## 2.2 Bewertung

Die gemäß § 8 BBodSchG festgelegten Prüf- und Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) sind in Anlage 2 Tab. 4 und 5 der BBodSchV zusammengefasst; sie sind auf die Kornfraktion < 2 mm von Proben aus Bodenmaterial oder aus Ablagerungen bezogen. Das vorliegende Merkblatt nimmt Bezug auf die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV und die stoffbezogenen Berechnungen (Orientierungswerte) der LABO und erläutert ihre Anwendung unter Berücksichtigung der Expositionsannahmen und der toxikologischen Stoffdaten.

### 2.2.1 Prüf- und Maßnahmenwerte

Die Prüf- und Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch wurden für die direkte Aufnahme von Schadstoffen bei bestimmten Flächennutzungen abgeleitet (Anlage 2, Tab. 4 und 5 BBodSchV).

Maßnahmenwerte sind in der BBodSchV nur für die Summe der Dioxine (polychlorierte Dibenzoparadioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)) und dioxinähnlichen polychlorierten Biphenyle (dl-PCB) enthalten (Anlage 2, Tab. 5 BBodSchV). Bei der Überschreitung der nutzungsbezogenen Maßnahmenwerte ist nach § 8 Abs. 1 Nr. 2 BBodSchG i. d. R. vom Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen und es sind Maßnahmen erforderlich. Es ist zu prüfen, ob Sofortmaßnahmen angezeigt sind oder ob die Durchführung einfacher Maßnahmen zur Abwehr oder Beseitigung der Gefahr möglich und ausreichend ist. Ggf. sind zur Entscheidung über den Umfang der Maßnahmen noch weitere Informationen, z. B. zur räumlichen Ausdehnung der Belastung, zu erheben.

Werden die nutzungsbezogenen Prüfwerte nach Anlage 2 Tab. 4 BBodSchV unterschritten, so ist im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt (§ 15 Abs. 2 BBodSchV). Wird dagegen die Überschreitung eines nutzungsbezogenen Prüfwerts nach BBodSchV festgestellt, so liegen i. d. R. konkrete Anhaltspunkte vor, die den hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast begründen (§ 9 Abs. 2 BBodSchG, § 10 Abs. 4 BBodSchV).

Soweit in der BBodSchV für einen Schadstoff keine Prüf- oder Maßnahmenwerte festgesetzt sind, sind gemäß § 15 Abs. 4 BBodSchV für die Bewertung die zur Ableitung der entsprechenden Werte herangezogenen Methoden und Maßstäbe zu beachten (UBA 1999b). Bei der Berechnung entsprechender Werte ist das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) Ansprechpartner für die bayerischen Gesundheitsbehörden.

Unter dieser Maßgabe (UBA 1999b) hat der Altlastenausschuss der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) stoffbezogene Berechnungen für eine Vielzahl altlastenrelevanter Stoffe für den Wirkungspfad Boden-Mensch durchgeführt und in einem Informationsblatt für den Vollzug veröffentlicht (LABO 2008). Mit Ausnahme der Prüfwertvorschläge für nichtflüchtige Stoffe weicht bei den übrigen im LABO-Infoblatt genannten Werten die Ableitungsmethodik und die Datenbasis von den Vorgaben der BBodSchV ab, d. h. die stoffbezogenen Berechnungen (Orientierungswerte) besitzen nicht die rechtliche Verbindlichkeit der Prüfwerte der BBodSchV. Bei den Werten für Kampfstoffe und deren Abbauprodukte wurde ein spezielles Akut-Szenario zugrunde gelegt.

Sofern bezüglich der toxikologischen Basisdaten (Eikmann et al. 1999) verlässliche aktuellere Informationen vorliegen, können diese bei der abschließenden Gefahrenabschätzung im Hinblick auf möglicherweise erforderliche Maßnahmen ergänzend herangezogen werden.

### 2.2.2 Ergänzende Hinweise zur Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte

Bei Stoffen mit akut toxischer Wirkung (z. B. Arsen, Cyanid) ist zu prüfen, ob möglicherweise ein sofortiger Handlungsbedarf gegeben ist. Entsprechend der Ableitung von Prüfwerten nach BBodSchV ist insbesondere für Substanzen mit akuter Toxizität explizit vorgesehen, derartige Expositionen ebenfalls zu

beachten. Das hierfür aufgestellte Szenario berücksichtigt, dass ein Kind mit 10 kg Körpergewicht einmalig 10 g Boden verschluckt. Mit Hilfe eines Sicherheitsfaktors von 10 wird dann der Abstand zwischen letaler Wirkung und ersten Vergiftungserscheinungen berücksichtigt.

Für Cyanid ist diese einmalige Exposition mit einem identischen Prüfwert von 50 mg/kg für die drei genannten Nutzungsszenarien in der Prüfwertableitung berücksichtigt. Für Arsen besteht ab 100 mg/kg und 100 % Resorptionsverfügbarkeit die Gefahr akuter Wirkungen (vgl. auch LANUV (2014)).

Bei Stoffen mit lokaler inhalativer Wirkung wie Chrom<sup>VI</sup>, Kobalt und Nickel gewährleisten Prüf- und Beurteilungswerte für das Szenario Park- und Freizeitanlagen unter Umständen keinen ausreichenden Schutz, wenn es sich um intensiver genutzte Bolzplätze ohne dichten Bewuchs handelt (LANUV 2014). In solchen Fällen können im Einzelfall auch die Prüfwerte für das Szenario Kinderspielflächen zur Beurteilung herangezogen werden, auch wenn die Expositionsbedingungen nicht ganz vergleichbar sind.

Für Cadmiumbelastungen in Haus- und Kleingärten enthält Anlage 2, Tab. 4 BBodSchV einen zusätzlichen Prüfwert von 2 mg/kg, der die gleichzeitige Exposition über die Wirkungspfade Boden-Mensch (direkter Kontakt) und Boden-Nutzpflanze berücksichtigen soll. Bei Überschreitungen des Prüfwertes wird für die Praxis empfohlen, zunächst zu klären, ob der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze tatsächlich relevant ist (Überschreiten der Maßnahmenwerte nach Anlage 2, Tab. 6 BBodSchV). Sofern dies zutrifft, können eventuell einfachere Schutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden (z. B. Verzicht auf Nutzpflanzen; Anbau von Pflanzen, die wenig Cadmium aufnehmen; Hochbeete). Wenn eine Belastung über diesen Wirkungspfad hinreichend ausgeschlossen werden kann, erfolgt eine Bewertung anhand der Prüfwerte für die Szenarien Kinderspielflächen und Wohngebiete bzw. anhand entsprechender einzelfallspezifischer Beurteilungswerte (eBW).

Bei der Bewertung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) ist zu beachten, dass die für PAK in der BBodSchV ausgewiesenen neuen Prüfwerte (Anlage 2 Tab. 4 BBodSchV) durch Benzo(a)pyren als Bezugssubstanz repräsentiert werden. Die bisherigen Prüfwerte für Benzo(a)pyren als Einzelsubstanz werden damit ersetzt. Die Prüfwerte beziehen sich auf den Gehalt an Benzo(a)pyren im Boden. Benzo(a)pyren repräsentiert dabei die Wirkung typischer PAK-Gemische in Böden ehemaliger Kokereien, ehemaliger Gaswerksgelände und ehemaliger Teermischwerke/-öllager; die Prüfwerte der „Bezugssubstanz Benzo(a)pyren“ stehen somit für die Wirkung der PAK<sub>gesamt</sub>.

Da bei der Ableitung der Prüfwerte für Benzo(a)pyren Daten konkreter PAK-Gemische der o. g. Standorte verwendet wurden, muss sichergestellt sein, dass das PAK-Muster und der Anteil von Benzo(a)pyren an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall mit diesen typischen PAK-Gemischen vergleichbar ist (vgl. Anhang 1). Deshalb sind Bodenproben nicht nur auf Benzo(a)pyren allein, sondern auf die Stoffgruppe der PAK<sub>16</sub> zu untersuchen. Weicht das PAK-Muster oder der Anteil von Benzo(a)pyren an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall deutlich von diesen typischen PAK-Gemischen ab, so ist dies bei der Anwendung der Prüfwerte und der Bewertung der Untersuchungsergebnisse gemäß § 15 BBodSchV zu berücksichtigen.

Bei nachgewiesenen großflächig siedlungsbedingt erhöhten Gehalten an PAK oder anderen Schadstoffen kann die zuständige Behörde dies gemäß § 15 Abs. 6 BBodSchV bei der Gefahrenbeurteilung berücksichtigen und Ausnahmeregelungen auf der Grundlage einer gebietsspezifischen Beurteilung und unter Berücksichtigung der Resorptionsverfügbarkeit treffen.

### 2.2.3 Einzelfallspezifische Beurteilungswerte (eBW)

Bei der Ableitung der Prüfwerte der BBodSchV wurden Standardannahmen sowohl zur Mobilität und Verfügbarkeit der Schadstoffe im Boden als auch für Aufnahmemengen und Expositionshäufigkeiten getroffen (UBA 1999b). Als Grundannahme wurde für alle Schadstoffe eine 100%ige Resorptionsverfügbarkeit aus dem Boden unterstellt.

Gemäß § 13 Abs. 1 BBodSchV sind in der Detailuntersuchung die Expositionsbedingungen im Einzelfall zu klären. Dies kann hier in vereinfachter Form über die Berechnung von eBW erfolgen, die im jeweiligen Einzelfall unter Berücksichtigung der tatsächlichen Expositionsbedingungen die beurteilungsrelevante Schadstoffkonzentration darstellen.

Eine umfassende Prüfung der Expositionsbedingungen und die Berechnung von einzelfallspezifischen Beurteilungswerten kann entfallen, wenn dadurch kein Erkenntnisgewinn für die abschließende Gefährdungsabschätzung zu erwarten ist; dies ist z. B. ab einer zehnfachen Überschreitung der Prüfwerte der Fall (vgl. auch Kap. 3.4, LABO (2020)).

Entsprechend der Bekanntmachung zur Ableitung von Prüf- und Maßnahmenwerten (UBA 1999b) wird die Bestimmung der für den Menschen resorptionsverfügbaren Schadstoffanteile im Boden als wesentlich für die Ableitung von Maßnahmenwerten angesehen. Im Einzelfall kann dies durch die Bestimmung des tatsächlich resorptionsverfügbaren Stoffgehalts nach DIN 19738 überprüft werden. Die von der gemessenen Schadstoffbelastung ausgehende Gefahr kann aufgrund abweichender Resorptionsverfügbarkeiten und/oder abweichender Expositionsbedingungen im Einzelfall geringer sein, als bei der Prüfwertableitung standardmäßig angenommen.

Die Standardannahmen zur Mobilität und Verfügbarkeit der Schadstoffe im Boden als auch für Aufnahmemengen und Expositionshäufigkeiten, die bei der Ableitung der Prüfwerte der BBodSchV getroffen wurden, sind in der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161 a veröffentlicht (UBA 1999b). Diese Annahmen sind beim Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) für eine Gefahrenbeurteilung im Einzelfall zu überprüfen (§ 22 Abs. 1 BBodSchV). Relevante Faktoren, die für eine verminderte Schadstoffaufnahme in Betracht kommen, sind in Kap. 2.1.2 genannt; so kann z. B. Grasbewuchs einen Minderungsfaktor begründen (LANUV 2014). Allgemein verbindliche Vorgaben zur Berücksichtigung von Minderungsfaktoren existieren jedoch derzeit nicht.

Die bedeutsamen resorptionsverfügbaren Schadstoffanteile sind im Rahmen der Detailuntersuchung nach DIN 19738 zu ermitteln (§ 13 Abs. 3 BBodSchV). Die ermittelte Resorptionsverfügbarkeit (RV) eines Schadstoffs und die eventuell zusätzlich relevanten Minderungsfaktoren (zM), wie z. B. eine verminderte Aufenthaltsdauer, können zu einem Gesamtminderungsfaktor (GF) kombiniert werden (vgl. Anhang 1). Der GF ist somit ein Maß für den gegenüber den Standardannahmen verminderten Schadstoffübergang vom Boden auf das Schutzgut Mensch. **Aus Plausibilitätsgründen wird jedoch empfohlen, einen Gesamtminderungsfaktor von ca. 10 einschließlich der Resorptionsverfügbarkeit nicht zu überschreiten.**

Zugunsten einer vereinfachten und einheitlicheren Handhabung in der Praxis wird empfohlen, den im Einzelfall bestimmten Gesamtminderungsfaktor (GF) auf die jeweils ermittelten Messwerte (MW) anzuwenden und die so errechneten einzelfallspezifischen Beurteilungswerte (eBW) mit den Prüfwerten abzugleichen. Die Prüfwerte der BBodSchV dienen hier als Entscheidungsgrundlage, ob Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen erforderlich sind oder nicht. Die Vorgehensweise zur Ermittlung und Anwendung der eBW ist in Anhang 1, Kap. 3 am Beispiel der PAK detailliert erläutert. Die Ermittlung des eBW ist Aufgabe des jeweiligen Sachverständigen.

Der eBW stellt die im jeweiligen Einzelfall unter Berücksichtigung der tatsächlichen Expositionsbedingungen beurteilungsrelevante Schadstoffkonzentration dar.

$$eBW = \frac{MW}{GF}$$

- eBW ≤ Prüfwert → keine Maßnahmen erforderlich  
Ist der berechnete einzelfallspezifische Beurteilungswert (eBW) kleiner oder gleich dem Prüfwert nach BBodSchV bzw. dem behelfsmäßigen Bodenorientierungswert nach LABO (2008) (vgl. Kap. 0) sind keine Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich.
- eBW > Prüfwert → Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich  
Ist der berechnete einzelfallspezifische Beurteilungswert (eBW) größer als der parameterspezifische Prüfwert nach BBodSchV bzw. behelfsmäßige Bodenorientierungswert nach LABO (2008) (vgl. Kap. 0), sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich (§ 8 Abs. 1 Nr. 2 BBodSchG).

Für PAK bestehen allerdings verschiedene Möglichkeiten, wie RV-Werte dabei berücksichtigt werden können (Anhang 1, Kap. 3). Es wird empfohlen, das arithmetische Mittel der für die acht höhermolekularen EPA-PAK (vgl. Anhang 1, Tab. 1 b)) bestimmten RV auf die Benzo(a)pyren-Messwerte (Benzo(a)pyren als Leitsubstanz für PAK) anzuwenden. Detaillierte Ausführungen zu den Prüf- und Maßnahmenwerten für PAK sind in Anhang 1 enthalten.

Eine Ausnahme stellen Stoffe wie Chrom<sup>VI</sup>, Kobalt und Nickel sowie allgemein das Szenario Industrie- und Gewerbegrundstücke dar, weil hier inhalative Wirkungen im Vordergrund stehen. Da konsentrierte Bestimmungsmethoden für die Resorptionsverfügbarkeit bei der Inhalation von Bodenpartikeln noch fehlen, können bei Detailuntersuchungen neben Abschätzungen zur Expositionssituation ggf. auch Luftmessungen vorgenommen und die Ergebnisse anhand von Luftrichtwerten (Außenluft) beurteilt werden (UBA 1999b, WHO 2000, WHO 2010, USEPA 2022). Eventuell ist dabei auch der Beitrag anderer Emissionsquellen (z. B. Industrieanlagen, Verkehr) zu berücksichtigen.

### 3 Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft

Bodenluft und Deponiegas können flüchtige Schadstoffe enthalten. Deponiegase können in Deponien bzw. Altablagerungen durch mikrobiellen Abbau entstehen. Als Hauptkomponenten treten im Deponiegas vor allem Kohlendioxid und Methan auf. I. d. R. spielt die Bodenluft als Transport- und Ausbreitungsmedium in rolligen Böden (z. B. sandige Kiese) und untergeordnet in Auflockerungszonen und geklüftetem Fels eine Rolle. In bindigen Böden wie Schluff oder Ton kann ein relevanter Gastransport z. B. über Schrumpfungsrisse erfolgen.

Über die Bodenluft oder Deponiegas können sich flüchtige Schadstoffe ausgehend von der Schadstoffquelle mit vergleichsweise großer Geschwindigkeit ausbreiten. Wenn ein Austreten der Stoffe an der Bodenoberfläche und somit eine stetige Verdünnung erschwert ist, z. B. durch eine Bodenversiegelung, kann sich je nach Stärke der Kontamination die Schadstoffkonzentration in der Bodenluft erhöhen. Beim Eindringen von Bodenluft oder Deponiegas in Gebäude durch Fugen, Risse oder Leitungen kann eine Gefahr für die Gesundheit oder die Sicherheit von Bewohnern oder Anwohnern über die Innenraumluft resultieren.

Deponiegas kann je nach zeitlicher Phase aus bis zu 80 % Volumenanteilen Methan bzw. bis zu 60 % Volumenanteilen Kohlendioxid bestehen. Daneben können im Deponiegas und in der Bodenluft weitere flüchtige Schadstoffe, sog. Spurenstoffe, auftreten. Ihr Gehalt liegt auch in Summe meist deutlich unter einem Volumenanteil von 1 % (VDI 3790-2). Vor allem sind hier die als Lösemittel verwendeten leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) und die leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffe (BTEX für die Hauptvertreter Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole) zu nennen.

Im Einzelfall sind weitere Spurenkomponenten in Betracht zu ziehen, z. B.

- niedermolekulare PAK wie Naphthalin,
- mineralölbasierte Kohlenwasserstoffe, kurzkettige n- und iso-Alkane (C6 – C16),
- Phenole,
- Schwefelwasserstoff, Methanthiol, Ethanthiol, 2-Propanthiol, 2-Butanthiol, Dimethylsulfid und weitere Mercaptane,
- Ammoniak,
- Phosphorwasserstoff (Phosphan), Arsenwasserstoff (Arsan).

Die im Staub gebundenen Schadstoffe werden unter Kap. 2.1.2 betrachtet, da sie dem Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) zugeordnet sind.

Bei Spurenkomponenten wie leichtflüchtigen mineralölbasierten Kohlenwasserstoffen oder Naphthalin steht nach bisherigen Erkenntnissen das Expositionsszenario Boden/Bodenluft-Innenraumluft-Mensch und nicht der Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) im Vordergrund. Sofern eine Bewertung von mineralölbasierten Kohlenwasserstoffen bezüglich dieses Wirkungspfades erforderlich ist, können die in der LABO-Hilfestellung (LABO 2017) genannten nutzungsabhängigen Prüfwertvorschläge herangezogen werden.

Gemäß § 10 Abs. 6 BBodSchV soll im Rahmen der Detailuntersuchung eine Untersuchung der Innenraumluft erfolgen, wenn aufgrund der örtlichen Umstände oder nach den Ergebnissen von Bodenluft- und Deponiegasuntersuchungen Anhaltspunkte für die Ausbreitung von flüchtigen Schadstoffen aus einer Altlastverdachtsfläche in Gebäude bestehen. Werden leichtflüchtige Schadstoffe in der Orientierenden Untersuchung oder Detailuntersuchung untersucht, um gemäß § 10 Abs. 6 BBodSchV Anhaltspunkte für die Ausbreitung dieser Stoffe in Gebäude zu ermitteln, richten sich die Beprobungstiefen nach dem Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft (§ 22 Abs. 2 BBodSchV).

Bestehen nach § 10 Abs. 6 BBodSchV Anhaltspunkte für die Ausbreitung von flüchtigen Schadstoffen in Gebäude, ist das Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft zu betrachten. Die bei der Untersuchung und Bewertung des Expositionsszenarios Boden-Bodenluft-Innenraumluft erforderlichen Bearbeitungsschritte und Maßnahmen können der nachfolgenden Abb. 3 entnommen werden.

Liegt eine Beeinträchtigung der Innenraumluft aufgrund von Schadstoffbelastungen aus der Bodenluft oder Deponiegas vor, entscheidet die Gesundheitsverwaltung, ob und welche Maßnahmen zu ergreifen sind (z. B. Sofortmaßnahmen zur Belüftung, Nutzungseinschränkungen). Über die nach § 4 Abs. 3 BBodSchG erforderlichen Maßnahmen zur Sanierung der Schadstoffquelle im Boden und/oder ggf. damit zusammenhängende Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen entscheidet die Bodenschutzbehörde.

Sofern in der Innenraumluft erhöhte Methan- und/oder Spurengaskonzentrationen im Bereich der unteren Explosionsgrenze festgestellt werden, sind durch die Kreisverwaltungsbehörde Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr zu veranlassen (vgl. § 17 Abs. 6 BBodSchV). Es muss zu jeder Zeit sichergestellt werden, dass Methangehalte in Innenräumen die untere Explosionsgrenze von 4 Vol.-% nicht überschreiten.

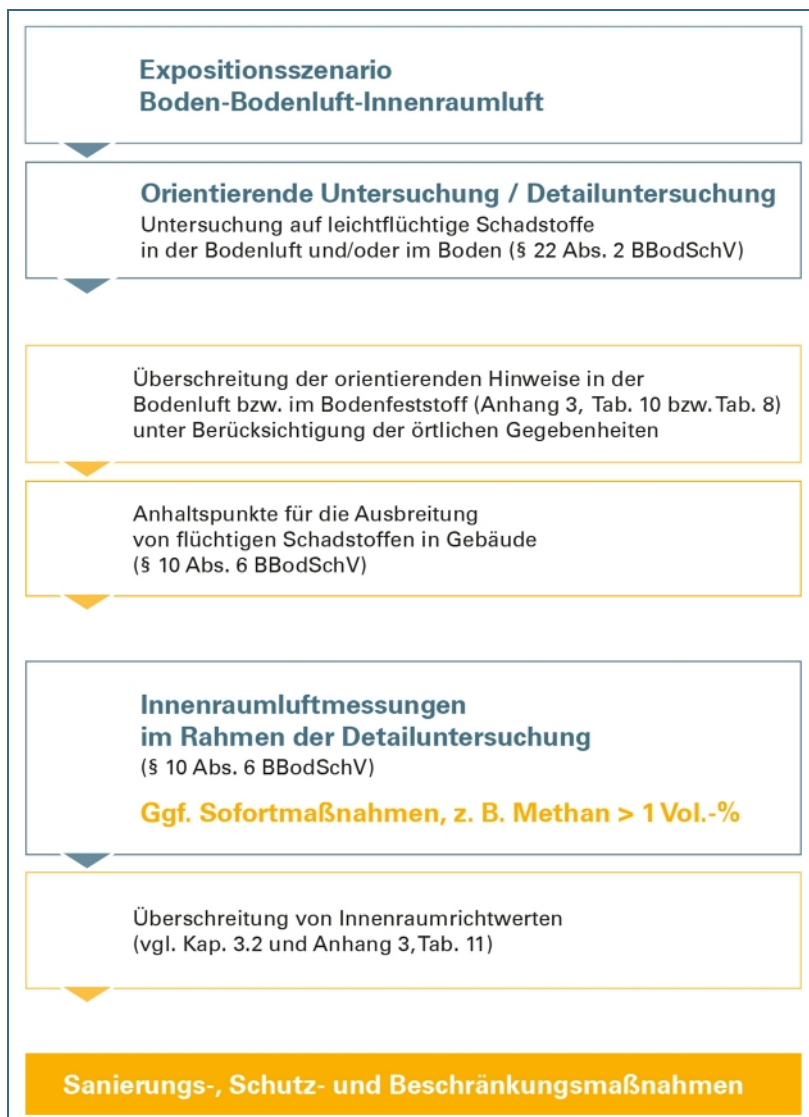


Abb. 3:  
Ablauf der Altlastenbearbeitung für  
das Expositionsszenario Boden-  
Bodenluft-Innenraumluft

## 3.1 Untersuchung

### 3.1.1 Orientierende Untersuchung

Liegt ein Verdacht auf leichtflüchtige Schadstoffe vor, sind grundsätzlich LHKW einschließlich Vinylchlorid und BTEX zu untersuchen. Diese Beschränkung ist insofern fachlich gerechtfertigt, als damit wichtige Vertreter der Stoffe erfasst werden, die üblicherweise in relevanten Konzentrationen in der Bodenluft vorkommen können. Ergibt sich aus den vorliegenden Ergebnissen ein Verdacht auf weitere gasförmige Schadstoffe, ist das Untersuchungsspektrum um die entsprechenden Parameter (s. o.) zu erweitern (UBA 1999a).

Bei Verdacht auf organische und/oder hausmüllähnliche Ablagerungen sind als sogenannte Feldparameter die typischen Deponiegashauptkomponenten Methan und Kohlendioxid sowie Sauerstoff im Deponiekörper bzw. im Boden zu ermitteln, ggf. auch Schwefelwasserstoff.

Wegen des möglichen Einflusses vieler Faktoren auf die Konzentration von Schadstoffen in der Bodenluft sollte die Aussagekraft einzelner Messwerte nicht zu hoch bewertet werden. Es kann sinnvoll sein, bei Vorkommen flüchtiger Stoffe mehrere Bodenluftuntersuchungen durchzuführen, um eine höhere statistische Sicherheit zu erhalten.

Bei ungünstigen Randbedingungen wie z. B. geringer Durchlässigkeit oder hohem Sorptionsvermögen des Bodens ist die Aussagekraft von Bodenluftuntersuchungen stark eingeschränkt. In diesen besonderen Fällen erfolgt die Untersuchung von flüchtigen Stoffen im Bodenmaterial (Festsubstanz, vgl. Merkblatt 3.8/4).

Oberbodenproben, die für den Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) genommen wurden, sind nicht für eine Beurteilung des Expositionsszenarios Boden-Bodenluft-Innenraumluft geeignet. Hierfür sind Bodenluft- oder Bodenproben aus den Tiefen zu untersuchen, aus denen ein Übertritt der Bodenluft in die Innenraumluft wahrscheinlich ist (vgl. Merkblatt 3.8/4 bzw. LABO 2020). Dies ist i. d. R. der Bereich der Kellersohle in einer Tiefe von 2 bis 2,5 m unter GOK.

Bei der Entscheidung über Innenraumluftuntersuchungen können auch der Versiegelungsgrad der Altlast, die Mächtigkeit, Durchlässigkeit, ggf. Oberflächenabdeckung und Basisabdichtung, die Tiefe der Kontamination, die Länge des Transportweges vom Emissions- zum Immissionsort und der Gebäudezustand für das Transmissionspotenzial einer Altlast von Bedeutung sein. Weiterhin ist zu beachten, dass sich Gase in Kanal-, Rohr- oder ähnlichen Leitungen auch über größere Entfernungen ausbreiten und in Gebäude gelangen können.

Ergeben sich bei der Orientierenden Untersuchung Methangehalte von mehr als 1 Vol.-% in der Bodenluft nahe an Gebäuden, ist dies von sicherheitstechnischer Bedeutung, d. h. im nächsten Schritt sollte eine unverzügliche Überprüfung der Innenraumluft erfolgen. Es muss zu jeder Zeit sichergestellt werden, dass Methangehalte in Innenräumen die untere Explosionsgrenze von 4 Vol.-% nicht überschreiten. Bei positivem Methan-Befund sollte auch die Anwesenheit von weiteren Spurenstoffen geprüft werden.

Innenraumluftuntersuchungen sind jedoch nicht Teil der Orientierenden Untersuchung.

### 3.1.2 Detailuntersuchung

Zur Ermittlung der räumlichen Ausdehnung der Kontaminationsbereiche sind i. d. R. ergänzende Bodenluft- bzw. Deponiegasuntersuchungen durchzuführen. Wenn unterkellerte Gebäude auf oder im Umfeld einer Ablagerung stehen, wird zur Bestimmung des Gasbildungspotenzials die ergänzende Durchführung von Absaugversuchen empfohlen (vgl. Merkblatt 3.8/4). Bei der Probenahmeplanung ist auch zu berücksichtigen, ob leichtflüchtige Stoffe mit dem Grundwasser ggf. in Bereiche außerhalb der eigentlichen Verdachtsfläche transportiert werden und dort eine Gefahrenquelle für die Innenraumluft darstellen.



Liegen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten oder nach Ergebnissen von Bodenluft- und Deponiegasuntersuchungen (z. B. aus der Orientierenden Untersuchung) Anhaltspunkte nach § 10 Abs. 6 BBodSchV für die Ausbreitung von flüchtigen Schadstoffen aus einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche in Gebäude vor, sollen Untersuchungen der Innenraumluft durchgeführt werden. Diese erfolgen in Abstimmung mit der Gesundheitsverwaltung im Rahmen der Detailuntersuchung. Die Ergebnisse werden in die abschließende Gefährdungsabschätzung mit einbezogen.

Grundlegende Vorgaben für die Durchführung von Innenraumluftuntersuchungen können der VDI-Richtlinienreihe 4300 und der Normenreihe DIN EN ISO 16000 entnommen werden.

### 3.2 Bewertung

Für die Bewertung von Bodenluft- und Deponiegasuntersuchungen im Hinblick auf das Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft sind in erster Linie die Bodenluftkonzentrationen in der Nähe von Gebäuden maßgebend. Die Entscheidung, ob im Rahmen der Detailuntersuchung Innenraumluftuntersuchungen erfolgen sollen oder nicht, kann entweder nach den Ergebnissen von durchgeführten Bodenluft- und Deponiegasuntersuchungen oder unter Berücksichtigung der Situation und der Gegebenheiten vor Ort (Risse an Gebäuden, den Verdachtsbereich querende Versorgungsleitungen, Unterkellerung) erfolgen (§ 10 Abs. 6 BBodSchV).

In der BBodSchV wurden für flüchtige Stoffe bezogen auf den Übergang Boden-Bodenluft-Innenraumluft keine Prüf- und Maßnahmenwerte festgelegt. Als Bewertungsmaßstäbe zur Auslösung der in § 10 Abs. 6 BBodSchV angesprochenen Innenraumluftuntersuchungen können die für Bodenluft bzw. Bodenfeststoff abgeleiteten orientierenden Hinweise für flüchtige Stoffe des LABO-Informationsblatts (LABO 2008) herangezogen werden (s. auch Anhang 3, Tab. 8 und Tab. 10). Die Überschreitung dieser orientierenden Hinweise kann als Anhaltspunkt für eine mögliche Ausbreitung von schadstoffbelasteter Bodenluft in bestehende Gebäude interpretiert werden und das Auslösen einer Untersuchung der Innenraumluft begründen. Die orientierenden Hinweise sind von ihrer Ableitung her nicht mit den in der BBodSchV festgelegten Prüfwerten gleich zu setzen. Daher sind die orientierenden Hinweise nicht für die Ausräumung oder Bestätigung eines hinreichenden Altlastverdachts heranzuziehen, sondern dienen lediglich als Anhaltspunkte für die Auslösung einer Untersuchung der Innenraumluft.

Die orientierenden Hinweise als auch die in der Bodenluft gemessenen Werte stellen dabei ebenso wie die zur Berechnung verwendeten Faktoren hinsichtlich des möglichen Übergangs von Schadstoffen aus der Bodenluft in die Raumluft nur Größenordnungen dar. Der bei der Berechnung der orientierenden Hinweise verwendete Transferfaktor von 1:1000 beschreibt konservativ die durchschnittliche Verdünnung beim Übertritt von Bodenluft in die Raumluft (Zeddel et al. 2002) und wurde auch in den zur BBodSchV veröffentlichten Ableitungsmethoden (UBA 1999b) als ausreichend konservativ erachtet.

Rein rechnerische Transferabschätzungen zur Ausbreitung von Bodenluft und Deponiegas in bestehende Gebäude auf Grundlage von Bodenluftergebnissen allein ersetzen nicht eine ggf. erforderliche Untersuchung der Innenraumluft.

Die Ergebnisse von Innenraumluftuntersuchungen können im Rahmen der Detailuntersuchung durch den Sachverständigen anhand von Innenraumrichtwerten bewertet werden, z. B. AIR (2023), UBA (1999b). Die Plausibilitätsprüfung dieser Bewertung erfolgt durch die zuständige Gesundheitsbehörde (ggf. mit Unterstützung des LGL). Aktuelle Innenraumrichtwerte für ausgewählte Parameter sind im Anhang 3, Tab. 11 enthalten.

Neben möglichen Belastungen der Innenraumluft aus anderen Quellen (z. B. durch Baumaterialien, Fußboden-, Wand- und Deckenmaterialien, Farben, Lacke, Klebstoffe, Möbel und Dekormaterialien, Pflege-

und Reinigungsmittel) ist bei der Bewertung – besonders in Hinsicht auf eventuelle Sanierungsmaßnahmen – auch die aktuelle Raumnutzung (z. B. nur gelegentlicher Aufenthalt in Kellern oder Lagerräumen) zu berücksichtigen.

## 4 Literaturverzeichnis

AIR, Ausschuss für Innenraumrichtwerte [Hrsg.] (2023): AIR-Richt- und Leitwerte, Stand 31.03.2023.

ARGEBAU, Arbeitsgemeinschaft der für das Bauwesen zuständigen Minister [Hrsg.] (2001): Mustererlass zur Berücksichtigung von Flächen mit Bodenbelastungen, insbesondere Altlasten, bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren.

BauGB (2017): Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 03. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 08. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1726) geändert worden ist.

BayBodSchG (1999): Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bayerisches Bodenschutzgesetz – BayBodSchG) vom 23.02.1999 (GVBl. S. 36), das zuletzt durch Gesetz vom 09.12.2020 (GVBl. S. 640) geändert worden ist.

BayBodSchVwV (2000): Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern (BayBodSchVwV) vom 11.07.2000 (AllMBI. S. 473, ber. S. 534).

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17.03.1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 25.02.2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist.

BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).

DIN 19738:2017-06: Bodenbeschaffenheit - Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial.

Eikmann, T.; Heinrich, U.; Heinzow, B.; Konietzka, R. [Hrsg.] (1999): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Ergänzbares Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihre Bewertung, Berlin, Erich Schmidt.

LABO, Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten, Informationsblatt für den Vollzug.

LABO, Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2017): Bewertung von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch bei einer potentiellen Belastung über Bodenluft und Innenraumluft, Hilfestellung für den Vollzug.

LABO, Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2020): Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung, Wirkungspfad Boden-Mensch, Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch, (Länderfinanzierungsprogramm, Projekt-Nr. B 3.17).

LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz [Hrsg.] (2014): Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2017): Merkblatt 3.8/4, Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer.

UBA, Umweltbundesamt [Hrsg.] (1999a): Erarbeitung von Programmen zur Überwachung von altlastenverdächtigen Flächen und Altlasten.

UBA, Umweltbundesamt [Hrsg.] (2002): Aufnahme und Bilanzierung (Bioverfügbarkeit) ausgewählter Bodenkontaminanten im Tiermodell (Minischwein).

UBA, Umweltbundesamt [Hrsg.] (1999b): 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.

USEPA, US Environmental Protection Agency [Hrsg.] (2022): Integrated Risk Information System.

VDI 3790-2:2017-06: VDI 3790 Blatt 2:2017-06 Umweltmeteorologie - Emission von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen.

VSU (2001): Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbehandlung in Bayern (Sachverständigen- und Untersuchungsstellen-Verordnung – VSU) vom 03.12.2001 (GVBl. S. 938), die zuletzt durch Verordnung vom 16.10.2017 (GVBl. S. 508) geändert worden ist.

WHO, World Health Organization [Hrsg.] (2000): Air Quality Guidelines for Europe.

WHO, World Health Organization [Hrsg.] (2010): WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants.

Zeddel, A.; Machtolf, M.; Barkowski, D.; Sohr, A. (2002): Leichtflüchtige Schadstoffe im Boden - orientierende Hinweise zur Bewertung von Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft beim Wirkungspfad Boden - Innenraumluft - Mensch für Wohngebiete, Altlasten Spektrum, 2.

## Anhang 1: Expositionsannahmen und einzelfallspezifische Beurteilungswerte für PAK

### 1 Expositionsannahmen für die Prüfwertableitung

Expositionsbetrachtungen dienen dazu, abschätzen zu können, welcher Schadstoffmenge der Mensch auf Grund seines Aufenthalts bzw. seines Verhaltens ausgesetzt ist. In der Detailuntersuchung werden die Expositionsbedingungen am Standort geprüft und mit den Standardannahmen für den Wirkungspfad Boden-Mensch, die bei der Prüfwertableitung der BBodSchV (vgl. UBA (1999)) angesetzt wurden, abgeglichen. Durch diese Expositionsabschätzung kann abschließend beurteilt werden, ob der im Zuge der Orientierenden Untersuchung entstandene Gefahrenverdacht in Bezug auf die betrachtete Nutzung letztlich ausgeräumt werden kann oder ob die Gefahr festzustellen ist und Maßnahmenbedarf besteht.

Die wesentlichen Expositionsannahmen für die Bodenaufnahme sind auf Kinder mit einem Körpergewicht von 10 kg ausgelegt, für die bei einer Aufenthaltsdauer von zwei Stunden täglich an 240 Tagen im Jahr eine tägliche orale Bodenaufnahme von 0,5 g im Jahr angenommen wird. Für die Nutzungskategorien Wohngebiet bzw. Park- und Freizeitanlagen wird von einer um den Faktor 2 (120 d/a) bzw. Faktor 5 (48 d/a) geringeren Exposition ausgegangen. Für die Betrachtung von Stoffen mit akuter toxischer Wirkung wird eine einmalige Bodenaufnahme von 10 g unterstellt.

Die exakte Vorgehensweise der Prüfwertableitung kann dem Teil 1 und 2 der „Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten“ (UBA 1999) entnommen werden.

### 2 PAK-Prüfwerte

In der BBodSchV sind für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) Prüfwerte ausgewiesen, die durch Benzo(a)pyren (BaP) als Bezugssubstanz repräsentiert werden. Die Wirkstärke der üblicherweise in Böden ehemaliger Kokereien, ehemaliger Gaswerksgelände und ehemaliger Teermischwerke / -öllager zu findenden PAK-Gemische wird durch die enthaltene Menge an BaP repräsentiert (FoBiG 1999). Weicht das PAK-Muster oder der Anteil von BaP an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall deutlich von diesen typischen PAK-Gemischen ab, so ist dies bei der Anwendung der Prüfwerte zu berücksichtigen. Deshalb ist der Boden auf alle 16 EPA-PAK (s. Tab. 1) zu untersuchen.

Tab. 1: PAK-Abkürzungen

a) niedermolekulare PAK

Abkürzung	Bezeichnung
Naph	Naphthalin
Acy	Acenaphthylen
Ace	Acenaphthen
Flu	Fluoren
Phen	Phenanthren
Anth	Anthracen
FluA	Fluoranthen
Pyr	Pyren

b) höhermolekulare PAK

Abkürzung	Bezeichnung
BaA	Benzo(a)anthracen
Chry	Chrysen
BbF	Benzo(b)fluoranthen
BkF	Benzo(k)fluoranthen
BaP	Benzo(a)pyren
BghiP	Benzo(ghi)perylen
I123P	Indeno(1,2,3-cd)pyren
DBahA	Dibenzo(ah)anthracen

Liegen siedlungsbedingte Hintergrundwerte oberhalb der Prüfwerte für BaP, ist dies bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse gemäß § 15 Abs. 6 BBodSchV ebenfalls zu berücksichtigen.

### Übertragbarkeit auf PAK-Gemische unterschiedlicher Zusammensetzungen

Je nach Quellen und Alter differiert die Zusammensetzung von PAK-Gemischen in Böden. Dennoch wird auch bei teilweise stark unterschiedlichen Mustern an typischen Standorten (Gaswerke, Kokereien, Teeröllager) aufgrund experimenteller Daten ein Übertragen der Risikobewertung i. d. R. als möglich angesehen (FoBiG 1999). Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass die Muster der höhermolekularen PAK ab Benzo(a)anthracen, unter denen sich die Verbindungen mit der höchsten kanzerogenen Potenz finden, i. d. R. nur wenig variieren (ca. Faktor 1,2 bis 3 bei den einzelnen Verbindungen bei Normierung auf BaP). Dagegen sind die Unterschiede bei den niedermolekularen PAK häufig deutlich höher (ca. Faktor 2,5 bis 80) (FoBiG 1999).

Tab. 2: Vergleich der Minimal- und Maximalwerte im PAK-Muster (niedermolekulare PAK) an typischen Standorten, normiert auf BaP (BaP = 1, nach LfU R-P (2001) und FoBiG (1999)).

a) Kokerei				b) Gaswerk				c) Teer			
PAK	Min.	Max.	Max./Min.	PAK	Min.	Max.	Max./Min.	PAK	Min.	Max.	Max./Min.
Naph	0,05	155,2	3.103	Naph	0,00	5,1		Naph	0,00	27,5	
Acy	0,00	4,7		Acy	0,00	1,0		Acy	0,00	3,2	
Ace	0,07	95,2	1.359	Ace	0,00	2,0		Ace	0,00	23,4	
Flu	0,02	111,3	5.567	Flu	0,02	3,7	187	Flu	0,00	15,0	
Phen	1,47	140,9	96	Phen	0,30	12,1	40	Phen	0,93	54,4	58
Anth	0,66	235,7	357	Anth	0,04	4,1	102	Anth	0,29	7,3	25
FluA	2,90	52,2	18	FluA	0,96	8,2	9	FluA	1,55	26,3	17
Pyr	1,80	27,1	15	Pyr	0,32	29,3	92	Pyr	2,97	27,0	9

Tab. 3: Vergleich der Minimal- und Maximalwerte im PAK-Muster (höhermolekulare PAK) an typischen Standorten, normiert auf BaP (BaP = 1, nach LfU R-P (2001) und FoBiG (1999)).

a) Kokerei				b) Gaswerk				c) Teer			
PAK	Min.	Max.	Max./Min.	PAK	Min.	Max.	Max./Min.	PAK	Min.	Max.	Max./Min.
BaA	0,96	5,5	6	BaA	0,44	2,4	6	BaA	0,91	3,5	4
Chry	0,53	4,5	8	Chry	0,17	1,9	11	Chry	0,99	2,9	3
BbF	0,66	2,9	4	BbF	0,17	1,2	7	BbF	0,17	1,3	8
BkF	0,38	1,4	4	BkF	0,17	1,1	6	BkF	0,00	3,0	
BaP	1,00	1,0		BaP	1,00	1,0		BaP	1,00	1,0	
BghiP	0,00	2,6		BghiP	0,05	1,1	23	BghiP	0,00	1,1	
I123P	0,00	2,7		I123P	0,17	1,0	6	I123P	0,00	0,8	
DBahA	0,00	0,7		DBahA	0,00	0,4		DBahA	0,00	1,2	
BaA	0,96	5,5	6	BaA	0,44	2,4	6	BaA	0,91	3,5	4

Noch stärker als die Mittelwerte der typischen Standorte variieren die PAK-Muster an den jeweiligen Einzelstandorten, was ein Vergleich der minimalen und maximalen relativen Anteile zeigt (siehe Tab. 2 und Tab. 3). Auch hier sind die Schwankungen bei den höhermolekularen PAK meist deutlich niedriger, ebenso die Unterschiede der Maximalwerte an den drei Standorten.

Insofern ist es wenig sinnvoll, Messergebnisse mit den Mittelwerten der drei typischen Standorte zu vergleichen (LfU R-P 2001), besonders, wenn nicht angegeben wird, in welchem Umfang Abweichungen zulässig sind. Daher wird empfohlen, Messergebnisse zur Prüfung der Übertragbarkeit auf BaP zu normieren und mit den Richtwerten aus Tab. 4 zu vergleichen. Diese Richtwerte stellen die gerundeten Maximalwerte aus Tab. 2 und Tab. 3 dar, die in zwölf Fällen von Kokereiflächen, in einem Fall von Gaswerksflächen (Pyr) und in zwei Fällen (BkF, DBahA) von Flächen stammen, auf denen mit Teer oder Teerölen umgegangen worden ist. Damit werden vorläufige Obergrenzen für Musterabweichungen ange-

geben. Begründen lässt sich diese Vorgehensweise damit, dass davon auszugehen ist, dass PAK-Muster, die in die Mittelwertbildung eingegangen sind (FoBiG 1999), grundsätzlich auch anhand der Prüfwerte der BBodSchV beurteilt werden können.

Tab. 4: Obergrenzen für maximale PAK-Anteile, normiert auf BaP = 1

a) niedermolekulare PAK

Stoff	Obergrenze
Naph	160
Acy	5
Ace	95
Flu	110
Phen	140
Anth	240
FluA	55
Pyr	30

b) höhermolekulare PAK

Stoff	Obergrenze
BaA	6
Chry	5
BbF	3
BkF	3
BaP	1
BghiP	3
I123P	3
DBahA	1,5

Bei der Beurteilung der Übertragbarkeit ist das Gewicht vorrangig auf die höhermolekularen PAK zu legen. Wenn hier Überschreitungen auftreten, sollte geprüft werden, ob die Messdaten plausibel durch eine spezifische Quelle bedingt sein können. In erster Linie sind dann DBahA und BbF relevant, da diese als ähnlich kanzerogen wie BaP eingestuft werden (FoBiG 1999, LfU R-P 2001), für BbF finden sich allerdings auch niedrigere Einschätzungen (MAK-Commission 2008); in zweiter Linie sind BaA, BkF und I123P und in dritter Linie Chry und BghiP von Relevanz. Sinnvoll ist, in Fällen mit deutlichen, plausiblen Überschreitungen möglichst auch toxikologische Sachverständige zur Bewertung hinzu zu ziehen.

### 3 Ableitung von einzelfallspezifischen Beurteilungswerten am Beispiel PAK

Bei der Ableitung von Prüfwerten für PAK wurden zunächst Rohwerte ermittelt, die ausschließlich auf Expositionsannahmen und toxikologischen Daten beruhen. Für die orale Aufnahme ergaben sich Rohwerte für Kinderspielflächen von 0,23 mg/kg, für Wohngebiete von 0,46 mg/kg und für Park- und Freizeitanlagen von 1,15 mg/kg. Für den dermalen Kontakt wurde ein Wert von 0,26 mg/kg für Kinderspielflächen errechnet (FoBiG 1999) d. h. in Kombination ergeben sich ca. 0,12/0,24/0,6 mg/kg für die drei Szenarien. Aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen insbesondere zu Hintergrundbelastungen wurden die Prüfwerte auf 0,5/1,0/1,0 mg/kg und somit oberhalb der Rohwerte festgelegt. Die Prüfwerte sind daher als Risikogrenzen für die jeweiligen Szenarien anzusehen. Da bei der Festlegung von einer 100%-igen Verfügbarkeit ausgegangen wurde, sollen im Rahmen von Detailuntersuchungen Analysen der Resorptionsverfügbarkeit nach DIN 19738 erfolgen. Die aufgrund der Resorptionsverfügbarkeit für den jeweiligen Einzelfall berechneten Konzentrationen (einzelfallspezifische Beurteilungswerte, eBW) werden anhand der Prüfwerte der BBodSchV bewertet (s. u. bzw. Kap. 2.2.1). Damit wird vermieden, dass es zu unterschiedlichen Risikohöhen bei Prüf- und Maßnahmenwerten kommt.

Als Besonderheit ist bei den PAK zu berücksichtigen, dass sich die Resorptionsverfügbarkeit (RV) bei den verschiedenen Einzel-PAK unterscheiden kann (in einem konkreten Fall für BaP ca. 10 % und für Phen ca. 25 %). Hier bestehen verschiedene Möglichkeiten, wie damit umgegangen wird:

- Mittelung der RV-Daten der 15 EPA-PAK (ohne Naphthalin),
- Mittelung der RV-Daten der höhermolekularen PAK ab BaA (vgl. Tab. 4 b)),
- Verwendung des RV-Wertes für BaP.

Aus toxikologischer Sicht ist der zweitgenannte Weg am sinnvollsten; dieses Vorgehen wird deshalb zur Anwendung empfohlen.

Im Folgenden wird die Berechnung des einzelfallspezifischen Beurteilungswertes für BaP als Leitsubstanz für PAK (vgl. Kap. 2.2.2) erläutert:

Die nach DIN 19738 ermittelte Resorptionsverfügbarkeit (RV) wird mit nachstehender Gleichung in einen Resorptionsverfügbarkeitsfaktor (RVF) umgerechnet. Durch Multiplikation mit einem ggf. ergänzend zu berücksichtigenden zusätzlichen Minderungsfaktor (zM) ergibt sich ein Gesamtminderungsfaktor (GF).

Für die Ermittlung des Gesamtminderungsfaktors (GF) gelten folgende Bedingungen:

RV = nach DIN 19738 ermittelte Resorptionsverfügbarkeit in [%]

RV < 100 % sind nach folgender Formel in einen Faktor für die Resorptionsverfügbarkeit ( $1 < RVF \leq 10$ ) umzurechnen:

$$RVF = \left( \frac{1}{RV} \right) \times 100$$

Damit nicht auch Schadstoffkonzentrationen deutlich oberhalb der Prüfwerte als tolerabel eingestuft werden, wird empfohlen, errechnete Gesamtminderungsfaktoren größer 10 (das entspricht einer 10-fachen Prüfwertüberschreitung) nicht für die Berechnung von einzelfallspezifischen Beurteilungswerte (eBW) heranzuziehen.

Berechnungsformel für den Gesamtminderungsfaktor (GF):

$$GF = RVF \times zM$$

mit zM = zusätzlicher Minderungsfaktor [ $1 < zM \leq 10$ ]  
(z. B. für Bewuchs oder reduzierte Aufenthaltsdauer)

Der Gesamtminderungsfaktor (GF) sollte i. d. R.  $\leq 10$  sein.

Zugunsten einer vereinfachten und einheitlicheren Handhabung in der Praxis wird empfohlen, den im Einzelfall bestimmten Gesamtminderungsfaktor (GF) auf die jeweils ermittelten Messwerte (MW) der Schadstoffkonzentration im Boden anzuwenden und die so errechneten einzelfallspezifischen Beurteilungswerte (eBW) mit den Prüfwerten der BBodSchV abzugleichen.

$$eBW = \frac{MW}{GF}$$

mit eBW = einzelfallspezifischer Beurteilungswert [mg/kg]

MW = Messwert [mg/kg]

Der einzelfallspezifische Beurteilungswert (eBW) stellt die im jeweiligen Einzelfall unter Berücksichtigung der tatsächlichen Expositionsbedingungen beurteilungsrelevante Schadstoffkonzentration dar.

Für die Entscheidung, ob Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind, ist der berechnete einzelfallspezifische Beurteilungswert (eBW) mit dem parameterspezifischen Prüfwert nach BBodSchV abzugleichen (vgl. Kap. 2.2.2).





## 4 Literaturverzeichnis

BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).

DIN 19738:2017-06: Bodenbeschaffenheit - Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial.

FoBiG, Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe (1999): Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Teil B Ableitung von Prüfwerten, Korrektur 2004, Freiburg.

LABO, Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten, Informationsblatt für den Vollzug.

LfU R-P, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz [Hrsg.] (2001): Hinweise zur Beurteilung von PAK-Gemischen in kontaminierten Böden, ALEX-Informationsblatt 21.

MAK-Commission [Hrsg.] (2008): The MAK Collection. Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH).

UBA, Umweltbundesamt [Hrsg.] (1999): 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.

## Anhang 2: Prüf- und Maßnahmenwerte

Tab. 6: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch (gem. Anlage 2, Tab. 4 BBodSchV)

	Kinderspiel- flächen [mg/kg TM]	Wohngebiete [mg/kg TM]	Park- und Freizeit- anlagen [mg/kg TM]	Industrie- und Gewerbe- grundstücke [mg/kg TM]
Antimon	50	100	250	250
Arsen	25	50	125	140
Blei	200	400	1.000	2.000
Cadmium	10 <sup>1)</sup>	20 <sup>1)</sup>	50	60
Cyanide	50	50	50	100
Chromgesamt <sup>2)</sup>	200	400	400	200
Chrom <sup>VI</sup> <sup>2)</sup>	130	250	250	130
Kobalt	300	600	600	300
Nickel	70	140	350	900
Quecksilber	10	20	50	100
Thallium	5	10	25	-
Aldrin	2	4	10	-
2,4-Dinitrotoluol	3	6	15	50
2,6-Dinitrotoluol	0,2	0,4	1	5
DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan)	40	80	200	400
Hexachlorbenzol	4	8	20	200
Hexachlorcyclohexan (HCH-Gemisch oder $\beta$ -HCH)	5	10	25	400
2,2',4,4',6,6'-Hexanitrodiphenylamin (Hexyl)	150	300	750	1.500
1,3,5-Trinitro-hexahydro-1,3,5-triazin (Hexogen)	100	200	500	1.000
Nitropenta	500	1.000	2.500	5.000
Pentachlorphenol	50	100	250	500
Polyzyklische aromatische Kohlen- wasserstoffe (PAK16) vertreten durch Benzo(a)pyren <sup>3)</sup>	0,5	1	1	5
PCB <sub>6</sub>	0,4	0,8	2	40
2,4,6 Trinitrotoluol (TNT)	20	40	100	200

- 1) In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden, gilt für Cadmium ein Prüfwert von 2,0 mg/kg Trockenmasse.
- 2) Bei Überschreitung der Prüfwerte für Chrom<sub>gesamt</sub> ist der Anteil an Chrom<sup>VI</sup> zu messen und anhand der Prüfwerte für Chrom<sup>VI</sup> zu bewerten.
- 3) Der Boden ist auf alle PAK16 hin zu untersuchen. Die Prüfwerte beziehen sich auf den Gehalt an Benzo(a)pyren im Boden. Benzo(a)pyren repräsentiert dabei die Wirkung typischer PAK-Gemische auf ehemaligen Kokereien, ehemaligen Gaswerksanlagen und ehemaligen Teermischwerken/-ölagern. Weicht das PAK-Muster oder der Anteil von Benzo(a)pyren an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall deutlich von diesen typischen PAK-Gemischen ab, so ist dies bei der Anwendung der Prüfwerte zu berücksichtigen. Liegen die siedlungsbedingten Hintergrundwerte oberhalb der Prüfwerte für Benzo(a)pyren, ist dies bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse gemäß § 15 BBodSchV zu berücksichtigen.

Tab. 7: Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch (gem. Anlage 2, Tab. 5 BBodSchV)

	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- und Freizeit- anlagen	Industrie- und Gewerbe- grundstücke
	$\frac{\text{ng WHO – TEQ}^{1)}}{\text{kg TM}}$	$\frac{\text{ng WHO – TEQ}^{1)}}{\text{kg TM}}$	$\frac{\text{ng WHO – TEQ}^{1)}}{\text{kg TM}}$	$\frac{\text{ng WHO – TEQ}^{1)}}{\text{kg TM}}$
Summe der Dioxine/Furane (PCDD/F) und dl-PCB <sup>2)</sup>	100	1.000	1.000	10.000

- 1) Toxizitätsäquivalente, berechnet unter Verwendung der Toxizitätsäquivalenzfaktoren (WHO-TEF) von 2005 (van den Berg et al. 2006).
- 2) Summe der Dioxine (polychlorierte Dibenzo-para-dioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)) und dioxinähnlichen polychlorierten Biphenyle (dl-PCB) nach der DIN EN 16190.

## Literaturverzeichnis

BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).

DIN EN 16190:2019-10: Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS), Deutsche Fassung EN 16190:2018.

van den Berg, M.; Birnbaum, L. S.; Denison, M.; Vito, M. de; Farland, W.; Feeley, M.; Fiedler, H.; Hakansson, H.; Hanberg, A.; Haws, L.; Rose, M.; Safe, S.; Schrenk, D.; Tohyama, C.; Tritscher, A.; Tuomisto, J.; Tysklind, M.; Walker, N.; Peterson, R. E. (2006): The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds, *Toxicological sciences*, 93, 2, S. 223–241.

## Anhang 3: Orientierungswerte

Tab. 8: Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen) bei Untersuchungen des Bodenfeststoffes (gem. LABO (2008))

	Wohngebiete	Industrie- und Gewerbegrundstücke
	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]
Benzin	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
Benzol	0,1 <sup>2)</sup>	0,4
Ethylbenzol	3	30
Chlorbenzol	15	170
Chloroform	0,1	0,5
o-Dichlorbenzol	450 <sup>G)</sup>	unpraktikabel hoch
m-Dichlorbenzol	200 <sup>G)</sup> (entspricht p-Dichlorbenzol)	unpraktikabel hoch
p-Dichlorbenzol	200 <sup>G)</sup>	unpraktikabel hoch
Dichlormethan	0,1	2
1,2-Dichlorpropan	1	5
Nitrobenzol	1	154
Phenol	4.500 <sup>G)</sup> (ggf. oral <sup>3)</sup> )	unpraktikabel hoch
1,1,2,2-Tetrachlorethan	0,03	0,3
Tetrachlorethen (PER)	1,5	25
Toluol	10	120
1,2,4-Trichlorbenzol	25	300
1,1,1-Trichlorethan	15	180
Trichlorethen	0,3	5
1,3,5-Trimethylbenzol und andere TMB-Isomere	200	2.000
Xylole	10	100

- 1) Der Expositionspfad „Anreicherung in geschlossenen Räumen“ kann von Bedeutung sein. Eine quantitative Abschätzung für das komplexe Stoffgemisch Benzin ist allerdings methodisch nicht möglich. Zur Bewertung wird empfohlen, die toxikologisch relevanten Inhaltsstoffe Benzol und Toluol zu bestimmen und ggf. auch geruchliche Belastungen zu berücksichtigen.
- 2) 0,1 mg/kg entspricht der Bestimmungsgrenze. Das Bestimmungsverfahren (nach Überschichtung der Probe mit Lösungsmittel im Feld und gemäß DIN EN ISO 22155 Extraktion mit Methanol und Headspace – GC-MSD) für diesen Konzentrationsbereich ist validiert (Win et al. 2006).
- 3) Für die langfristige orale Aufnahme von Phenol liegt kein TRD-Wert vor. Mit Bezug auf Daten zur kurzfristigen oralen Exposition und im Vergleich zu der Ableitung von Prüfwerten für den Direktpfad von PCP sollte jedoch bei Überschreitung von 1.000 mg/kg Phenol im Oberboden bei Wohngebieten auch die Gefährdung durch orale Bodenaufnahme geprüft werden (siehe UBA (1999), H 767).
- G) Bei den mit **G** bezeichneten Stoffen sind – auch bei Unterschreitung der orientierenden Hinweise – in Gebäuden **Geruchswahrnehmungen** möglich. Es ist ratsam, Messungen der Schadstoffe in der Bodenluft durchzuführen und gemäß den Anmerkungen zu Tab. 5 in LABO (2008) auch Einschätzungen bezüglich geruchlicher Belästigungen durchzuführen. Ggf. ist über den Boden-Bodenluft-Verteilungskoeffizienten (Kas, siehe UBA (1999)) und einen geeigneten Transferfaktor auch ein Vergleich der Schadstoffgehalte im Feststoff mit den Geruchsschwellen sinnvoll.

Tab. 9: Behelfsmäßige Bodenorientierungswerte (stoffbezogene Berechnungen) für Einzelfallprüfungen bei Rüstungsaltslasten (Stoffe ohne TRD-Wert) (gem. LABO (2008))

	Kinderspiel- flächen [mg/kg TM]	Wohngebiete [mg/kg TM]	Park- und Freizeit- anlagen [mg/kg TM]	Industrie- und Gewerbe- grundstücke [mg/kg TM]
4-Amino-2,6-dinitrotoluol	20	40	100	200
2-Amino-4,6-dinitrotoluol	20	40	100	200
2,4-Dinitrophenylamin	keine Daten	keine Daten	keine Daten.	keine Daten.
1,3-Dinitrobenzol	15	30	75	150
2-Nitrodiphenylamin	keine Daten	keine Daten	keine Daten.	keine Daten.
4-Nitrodiphenylamin	unpraktikabel hoch	unpraktikabel hoch	unpraktikabel hoch	unpraktikabel hoch
2-Nitrotoluol	0,2	0,4	1	5
3-Nitrotoluol	-	1.000 <sup>1) G)</sup>	unpraktikabel hoch	unpraktikabel hoch
4-Nitrotoluol	-	250 <sup>1) G)</sup>	-	3.000 <sup>1)</sup>
N-Methyl-N,2,4,6-tetranitroanilin; (Tetryl)	200	400	1.000	2.000
2,4,6-Trinitrophenol; (Pikrinsäure)	8	15	40	80

1) Auf Grundlage der ergänzenden Ableitungsmethoden und -maßstäbe für flüchtige Stoffe; siehe auch Ausführungen zu Flüchtige Stoffe in LABO (2008).

G) Bei den mit **G** bezeichneten Stoffen sind – auch bei Unterschreitung der orientierenden Hinweise – in Gebäuden **Geruchswahrnehmungen** möglich. Es ist ratsam, Messungen der Schadstoffe in der Bodenluft durchzuführen und gemäß den Anmerkungen zu Tab. 5 in LABO (2008) auch Einschätzungen bezüglich geruchlicher Belästigungen durchzuführen. Ggf. ist über den Boden-Bodenluft-Verteilungskoeffizienten (Kas, siehe UBA (1999)) und einen geeigneten Transferfaktor auch ein Vergleich der Schadstoffgehalte im Feststoff mit den Geruchsschwellen sinnvoll.

Bei der Anwendung der in Tab. 10 aufgeführten Konzentrationen sind die Erläuterungen in Kap. 3.2 des Textteils zu beachten.

Tab. 10: Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe in der Bodenluft (gem. LABO (2008))

	Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe in der Bodenluft
	[mg/m <sup>3</sup> ]
Acetophenon	1.000
Benzol	10
Chlorbenzol	1.000
Chloroform	2
o-Dichlorbenzol	1.000
m-Dichlorbenzol	1.000
p-Dichlorbenzol	1.000
cis-1,2-Dichlorethen	900
Dichlormethan	80
1,2-Dichlorpropan	150
Ethylbenzol	200
Naphthalin	10
Nitrobenzol	1
3-Nitrotoluol	1.000
4-Nitrotoluol	250
Phenol	200
Styrol	100
1,1,2,2-Tetrachlorethan	1
Tetrachlorethen (PER)	70
Tetrachlormethan	3
Toluol	1.000
1,2,4-Trichlorbenzol	70
1,1,1-Trichlorethan	1.000
Trichlorethen (TRI)	20
1,3,5-Trimethylbenzol(e)	1.000
Vinylchlorid (VC)	4
Xylole	1.000

Bei den in Tab. 11 genannten Beurteilungswerten handelt es sich um „Richtwerte-I für Stoffe in der Innenraumluft“, „risikobezogene Leitwerte für krebserregende Stoffe“ und „Orientierungswerte“ aus den in den Fußnoten genannten Literaturstellen.

Tab. 11: Beurteilungswerte für ausgewählte Schadstoffe in der Innenraumluft

	Beurteilungswerte
	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Acetophenon	66 <sup>a)</sup>
C <sub>9</sub> - C <sub>14</sub> - Alkane / Isoalkane	200 <sup>a)</sup>
Benzol	4,5 (vorläufig) <sup>a)</sup>
Benzo(a)pyren	0,0008 (vorläufig) <sup>a)</sup>
Chlorbenzol	400 <sup>b)</sup>
Chloroform	9 (vorläufig) <sup>b)</sup>
o-Dichlorbenzol	2.900 <sup>b)</sup>
m-Dichlorbenzol	nicht abgeleitet <sup>b)</sup>
p-Dichlorbenzol	1.800 <sup>b)</sup>
1,2-Dichlorethan	1 (vorläufig) <sup>a)</sup>
cis-1,2-Dichlorethen	200 <sup>b)</sup>
Dichlormethan	200 <sup>a)</sup>
1,2-Dichlorpropan	15 (vorläufig) <sup>b)</sup>
Ethylbenzol	200 <sup>a)</sup>
Kresole (Methylphenole)	5 <sup>a)</sup>
Naphthalin	10 (vorläufig) <sup>a)</sup>
Nitrobenzol	7 <sup>c)</sup>
2-Nitrotoluol	200 <sup>b)</sup>
3-Nitrotoluol	400 <sup>b)</sup>
4-Nitrotoluol	70 <sup>b)</sup>
Phenol	20 <sup>a)</sup>
Styrol	30 <sup>a)</sup>
1,1,2,2-Tetrachlorethan	2.800 <sup>b)</sup>
Tetrachlorethen (PER)	100 <sup>a)</sup>
Tetrachlormethan	130 <sup>b)</sup>
Toluol	300 <sup>a)</sup>
1,2,4-Trichlorbenzol	18 <sup>b)</sup>
1,1,1-Trichlorethan	5.800 <sup>b)</sup>
Trichlorethen (TRI)	20 <sup>a)</sup>
Trimethylbenzole bzw. $\Sigma$ C <sub>9</sub> -C <sub>15</sub> Alkylbenzole	100 <sup>a)</sup>
Vinylchlorid (VC)	2,3 <sup>a)</sup>
Xylole	100 <sup>a)</sup>

a) (AIR 2023)

b) (Eikmann et al. 1999)

c) (UBA 1999)



## Literaturverzeichnis

AIR, Ausschuss für Innenraumrichtwerte [Hrsg.] (2023): AIR-Richt- und Leitwerte, Stand 31.03.2023.

DIN EN ISO 22155:2016-07: Bodenbeschaffenheit- Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether- Statisches Dampf- raum-Verfahren (ISO 22155:2016), Deutsche Fassung EN ISO 22155:2016.

Eikmann, T.; Heinrich, U.; Heinzow, B.; Konietzka, R. [Hrsg.] (1999): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Ergänzbare Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihre Bewertung, Berlin, Erich Schmidt.

LABO, Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten, Informationsblatt für den Vollzug.

UBA, Umweltbundesamt [Hrsg.] (1999): 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.

Win, T.; Schmieder, R.; Erhardt, U.; Kaminski, K.; Walther, W.; Nehls, I. (2006): Bericht zur Durchführung des Ringversuchs zur Validierung der Benzolanalytik im Spurenbereich, Im Auftrag des ständigen Ausschusses Altlasten (ALA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), BAM, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven.

---

**Impressum:**

**Herausgeber:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Telefon: 0821 9071-0  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

**Bearbeitung:**

LfU, Referat 96

**Bildnachweis:**

LfU, Caroline Stumpf

**Stand:**

Mai 2023

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.