

# **LABO**

**Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft  
Bodenschutz**

## **Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung**

**Wirkungspfad Boden-Mensch  
Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch**

**Zur Anwendung empfohlen gemäß LABO-Umlaufbeschluss vom 10. August 2020  
und Beschluss der UMK im Umlaufverfahren**

**Ständiger Ausschuss „Altlasten“ (ALA)**

Dieser Arbeitshilfe liegt der gleichnamige LFP-Abschlussbericht der IFUA Projekt GmbH Bielefeld vom Dezember 2019 zu Grunde und ist daher auch auf der Seite des Länderfinanzierungsprogrammes (LFP) veröffentlicht (<http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/lab0/>, LFP-Projekt B 3.17). Das LFP-Projekt wurde bearbeitet von:

Frau M. Machtolf

Herr G. Krüger

Herr Dr. D. Barkowski

In der projektbegleitenden Arbeitsgruppe wirkten mit

Herr Dr. I. Müller

Sächsisches Landesamt für Umwelt,  
Landwirtschaft und Geologie

Herr J. Leisner

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

sowie

die Mitglieder des Gesprächskreises Schadstoffbewertung des Ständigen Ausschusses Altlasten der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz

Herr Dr. M. Biersack

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Frau C. Hillmert

Landesanstalt für Umwelt  
Baden-Württemberg

Herr Dr. S. Feisthauer

Hessisches Landesamt für Naturschutz  
Umwelt und Geologie

Herr Dr. G. Schmiedel

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz

Frau Dr. A. Hädicke

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Frau G. Klemm (Projektbetreuung)

Sächsisches Landesamt für Umwelt,  
Landwirtschaft und Geologie

Frau M. Salzmann

Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe

Frau A. Nebelsiek

Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg

Herr Dr. A. Zeddel (Obmann)

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein.

Herausgegeben von der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)

Nachdruck und Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit der Genehmigung des Herausgebers gestattet.

**Stand: 05.06.2020**

## Veranlassung und Vorbemerkungen zur Arbeitshilfe

Die vorliegende Arbeitshilfe wurde im Auftrag des Ständigen Ausschusses Altlasten (ALA) der LABO mit dem Ziel erarbeitet, ein bundeseinheitliches Vorgehen bei der Expositionsabschätzung innerhalb der Detailuntersuchung und der daraus abzuleitenden Gefahrenbeurteilung zu etablieren.

Sie behandelt die Expositionen, denen **Menschen** als Nutzer von Flächen ausgesetzt sein können - im Rahmen der Detailuntersuchung wird dabei die verfügbare Menge eines Stoffes, denen ein Mensch unter den Bedingungen des betrachteten Einzelfalls ausgesetzt sein kann, abgeschätzt. Dazu werden auf Grundlage der BBodSchV die verschiedenen Methoden zur Expositionsabschätzung dargestellt, die die Mobilität und Verfügbarkeit der Schadstoffe im Boden sowie die Nutzungsbedingungen am Standort ermitteln. Dies beinhaltet auch indirekte Aufnahmen über Nutzpflanzen (Boden-Nutzpflanze-Mensch) oder Nutztiere (Boden-Nutztier-Mensch).

Nicht behandelt werden die Schutzgüter Nutzpflanze (Pflanzenqualität) und Grundwasser.

Bislang liegen vollzugsleitende bundeseinheitliche Hinweise zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung nicht vor. Deshalb ist in den Jahren 2017 bis 2019 aus Mitteln des Länderfinanzierungsprogrammes „Wasser, Boden und Abfall“ unter fachlicher Begleitung einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe aus Vertretern der Fachbehörden der Länder durch die IFUA-Projekt-GmbH Bielefeld die Grundlage für die vorliegende Arbeitshilfe erarbeitet worden.

Ausgangspunkt des Projektes waren Veröffentlichungen einzelner Bundesländer (*vgl. Anhang 6*) sowie Befragungen von Behördenvertretern, Gutachtern und Sachverständigen zur aktuellen Vollzugspraxis.

Im Rahmen eines Workshops im April 2019 in Frankfurt am Main sind die Inhalte der Arbeitshilfe mit Expertinnen und Experten aus ganz Deutschland diskutiert und durch die Bearbeitung von Fallbeispielen einem ersten Test auf Praxistauglichkeit unterzogen worden.

Zahlreiche Rückmeldungen aus dem Teilnehmerkreis fanden Aufnahme in den Abschlussbericht der IFUA Projekt GmbH vom Dezember 2019.

Auf dessen Grundlage hat die projektbegleitende Arbeitsgruppe die hier veröffentlichte weiterentwickelte Fassung erarbeitet.

Die Arbeitshilfe soll Sachverständigen und Untersuchungsstellen eine fundierte Hilfestellung für die praktische, transparente und nachvollziehbare Bearbeitung vor Ort bieten.

Die zuständigen Bodenschutzbehörden sollen in die Lage versetzt werden, bei Prüfwertüberschreitungen die vertiefenden Expositionsabschätzungen sachverständiger Gutachter hinsichtlich Plausibilität und Vollständigkeit qualifiziert zu prüfen und grobe Abschätzungen des konkreten Risikos in begrenztem Rahmen selbst vorzunehmen.

## **Ausblick**

Eine Evaluierung und erneute Überarbeitung der Arbeitshilfe ist nach Abschluss geplanter behördeninterner Schulungen und Auswertung der dort geäußerten Erfahrungen und Anregungen vorgesehen.

Unabhängig davon nimmt der ALA-Gesprächskreis Schadstoffbewertung (Mitglieder siehe oben) jederzeit gern Hinweise zur Anwendung der Arbeitshilfe in der gutachterlichen Praxis entgegen.

# Inhaltsverzeichnis

1.	Zielsetzung und Anwendungsbereich	1
2.	Detailuntersuchung im Ablauf der Gefahrenbeurteilung	4
2.1.	Rahmenbedingungen	4
2.2.	Ablauf der Gefahrenbeurteilung	5
2.2.1.	Abgleich mit Prüfwerten	7
2.2.2.	Überschreitung von Maßnahmenwerten	8
2.3.	Wesentliche Bestandteile der DU	9
2.4.	Planungsrechtlich zulässige / aktuelle Nutzung	10
3.	Vorgehensweise zur Expositionsabschätzung	12
3.1.	Das Prinzip	12
3.2.	Ablauf	12
3.3.	Grundsätze der Standortcharakterisierung	14
3.3.1.	Prüfung der Expositionsbedingungen	15
3.3.2.	Abschließende Risikobewertung und Gefahrenbeurteilung	17
3.4.	Entbehrlichkeit von Expositionsabschätzungen	19
4.	Standortcharakterisierung	21
4.1.	Charakterisierung des Schadstoffinventars	21
4.1.1.	Schadstoffe mit Bewertung nach BBodSchV	23
4.1.2.	Weitere Schadstoffe mit konsentierten Prüfwertvorschlägen	25
4.1.3.	Schadstoffe ohne Prüfwertvorschläge	26
4.1.4.	Stoffgruppen	27
4.1.5.	Stoffgemische	28
4.2.	Nutzungsszenarien und ihre Wirkungs- und Aufnahmepfade	29
4.2.1.	Kinderspielflächen	30
4.2.2.	Wohngebiete	31
4.2.3.	Nutzgarten	33
4.2.4.	Park- und Freizeitanlagen	34
4.2.5.	Industrie- und Gewerbegrundstücke	34
4.2.6.	Sport- und Bolzplätze	35
4.3.	Auswahl des zutreffenden Nutzungsszenarios	35
5.	Durchführung von Expositionsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Mensch	38
5.1.	Ermittlung relevanter Aufnahmepfade	38
5.1.1.	Orale Aufnahme von Schadstoffen aus dem Boden	40
5.1.2.	Inhalative Aufnahme partikulär gebundener Schadstoffe	40
5.1.3.	Dermale Aufnahme von Schadstoffen aus dem Boden (perkutan)	42

5.2.	Ermittlung bodenabhängiger Expositionsbedingungen	43
5.2.1.	Gesamtgehalte	43
5.2.2.	Oxidationsstufen	43
5.2.3.	Bindungsform	45
5.2.4.	Resorptionsverfügbarkeit (orale Aufnahme)	48
5.2.5.	Schadstoffanreicherung in der Feinkornfraktion < 63 µm (inhalative Aufnahme)	51
5.2.6.	Staubkonzentration in der Luft (inhalative Aufnahme)	54
5.2.7.	Dermale Verfügbarkeit	55
5.3.	Ermittlung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen	56
5.3.1.	Bodenaufnahmemenge/-rate - Zugänglichkeit des Bodens	57
5.3.2.	Aufenthaltshäufigkeit und -dauer sensibler Nutzergruppen	61
5.3.3.	Weitere Expositionsstandards	63
5.4.	Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Mensch	64
6.	Durchführung von Expositionsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch	68
6.1.	Grundlagen	68
6.1.1.	Aufnahme über die Außenluft	69
6.1.2.	Aufnahme über die Innenraumluft	70
6.2.	Ermittlung bodenabhängiger Expositionsbedingungen	71
6.2.1.	Gehalte im Bodenfeststoff	71
6.2.2.	Konzentrationen in der Bodenluft	72
6.3.	Ermittlung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen	74
6.3.1.	Art und Zustand des Gebäudes	74
6.3.2.	Gebäudenutzung	75
6.4.	Innenraumluftmessungen	76
6.5.	Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Bodenluft-Mensch	78
7.	Durchführung von Expositionsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch	80
7.1.	Grundlagen	80
7.1.1.	Schadstofftransfer Boden-Nutzpflanze	82
7.1.2.	Schadstoffaufnahme Nutzpflanze-Mensch	84
7.2.	Ermittlung bodenabhängiger Expositionsbedingungen	85
7.2.1.	Gesamtgehalte	86
7.2.2.	Pflanzenverfügbare Gehalte	88
7.2.3.	Pflanzenverfügbarkeitsbestimmende Bodenfaktoren	91
7.2.4.	Transferabschätzung Boden-Nutzpflanze	93
7.2.5.	Anreicherungsverhalten von Nutzpflanzen	95
7.3.	Ermittlung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen	96
7.3.1.	Nutzpflanzenauswahl	96
7.3.2.	Anbau- und Verzehrmenen	97
7.4.	Pflanzenuntersuchungen	100
7.5.	Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze-Mensch	101

8.	Durchführung von Expositionsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-(Futterpflanze)-Nutztier-Mensch	104
8.1.	Bodenuntersuchungen	104
8.2.	Untersuchung von Futterpflanzen	106
8.3.	Untersuchung tierischer Produkte	106
9.	Sonderfälle der Expositionsbetrachtung	107
9.1.	Integrative Betrachtung der Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch	107
9.2.	Weiterführende Expositionsbetrachtungen	109
9.2.1.	Neue Nutzungsszenarien	109
9.2.2.	Mischexpositionen und Kombinationswirkungen	110
9.2.3.	Hintergrundexposition	112
9.3.	Bewertung großflächiger Belastungen	112
9.3.1.	Statistischer Kennwert aus Datenkollektiv statt Messwert	113
9.3.2.	Festlegung der Aussagesicherheit	114
9.3.3.	Ableitung gebietsbezogener Beurteilungswerte	114
9.3.4.	Anwendung der gebietsbezogenen Beurteilungswerte	116
9.4.	Human-Biomonitoring	116
10.	Methodische Anforderungen	118
10.1.	Vorgaben zu Probennahme und Analytik	118
10.2.	Anforderungen an Gutachten und Auswertungen	120
10.3.	Anforderungen an Sachverständige	123
	Literatur	125
	Glossar	137

## Anhänge

- Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung
- Anhang 2: Datenblätter zur Expositionsabschätzung
- Anhang 3: Methoden und Konventionen
- Anhang 4: Fallbeispiele
- Anhang 5: Mustergliederung
- Anhang 6: Materialsammlung

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Ablauf zur Gefahrenbeurteilung für die Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Bodenluft-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch	6
Abbildung 2: Schritte der Expositionsabschätzung	13
Abbildung 3: Prozesse im Vorfeld der Resorption am Beispiel Cadmium verunreinigter Bodenpartikel (LANUV 2014)	48
Abbildung 4: Schematische Darstellung der relevanten Teilpfade beim Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (LANUV 2014)	82

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Nutzungsszenarien mit relevanten Wirkungspfaden	29
Tabelle 2: Wirkungspfade mit Zuordnung der beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfade	30
Tabelle 3: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch gemäß BBodSchV und MantelV/BBodSchV mit beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfaden und Art der Wirkung	39
Tabelle 4: Ableitung der Prüfwerte für das Nutzungsszenario "Industrie- und Gewerbegrundstücke" gemäß BBodSchV (Gesamtgehalte)	41
Tabelle 5: Spezifizierte Prüfwerte (Oxidationsstufe) für Chrom für den Direktpfad gemäß BBodSchV, ergänzt um beurteilungsbestimmende Aufnahmepfade	44
Tabelle 6: Spezifizierte Prüfwerte (Bindungsformen) für den Direktpfad gemäß BBodSchV (Gesamtgehalte [mg/kg], ergänzt um beurteilungsbestimmende Aufnahmepfade	47
Tabelle 7: Subnutzungen und Bodenaufnahmemengen (Quelle: LANUV 2014)	59
Tabelle 8: Berechnung der täglichen Bodenaufnahmemenge in einem Hausgarten (Beispiel)	60
Tabelle 9: Regelannahmen für das Anreicherungsverhalten ausgewählter Schadstoffe über verschiedene Aufnahmepfade (nach LANUV 2014)	83
Tabelle 10: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze für das Szenario "Nutzgarten" gemäß BBodSchV (Gesamtgehalte [mg/kg])	86
Tabelle 11: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze für das Szenario "Nutzgarten" in Hinblick auf die Pflanzenqualität gemäß BBodSchV [mg/kg]	89
Tabelle 12: Ernteerträge in Nutzgärten (KTBL 1991)	99
Tabelle 13: Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV und MantelV/BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze auf Grünland in Hinblick auf die Pflanzenqualität	105

## Verzeichnis der Gleichungen

Gleichung 1: Beurteilungswert ( $BW_{RV}$ ) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, orale Aufnahme	49
Gleichung 2: Beurteilungswert ( $BW_{gesamt}$ ) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, orale Aufnahme	50
Gleichung 3: Beurteilungswert ( $BW_{Feinkornfraktion}$ ) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, inhalative Aufnahme	53
Gleichung 4: Beurteilungswert ( $BW_{gesamt}$ ) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, inhalative Aufnahme	53
Gleichung 5: Expositionsquotient $EQ_{BA}$ für die Bodenaufnahmemenge	61
Gleichung 6: Expositionsquotient $EQ_{AH}$ für die Aufenthaltshäufigkeit	63
Gleichung 7: Expositionsquotient $EQ_{AD}$ für die Aufenthaltsdauer	63
Gleichung 8: Beurteilungswert ( $BWa$ ) für die aktuelle Nutzung (a) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, orale Aufnahme	65
Gleichung 9: Beurteilungswert ( $BWa$ ) für die aktuelle Nutzung (a) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, inhalative Aufnahme	66
Gleichung 10: Expositionsquotient $EQ_{AF}$ zur Berücksichtigung der aktuellen Anbaufläche	99

Gleichung 11: Berechnung der Verzehrmenge unter Berücksichtigung des Expositionsquotienten $EQ_{AF}$	100
Gleichung 12: Berechnung der Schadstoffzufuhr über den Verzehr von Nutzpflanzen	100
Gleichung 13: Beurteilungswert ( $BW_{a\ Pfl}$ ) für die aktuelle Nutzung (a) für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch	102
Gleichung 14: Integrative Berechnung der oralen Schadstoffzufuhr	108
Gleichung 15: Beurteilung der Schadstoffzufuhr	108
Gleichung 16: Gebietsbezogener Beurteilungswert (gBW) unter der beispielhaften Berücksichtigung der Resorptionsverfügbarkeit	115

## Abkürzungsverzeichnis

AGLMB	Arbeitsgemeinschaft der leitenden Medizinalbeamtinnen, -beamten der Länder
AHU	Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Aachen
AIR	Ausschuss für Innenraumluftrichtwerte
ALA	Altlastenausschuss der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
AN	Ammoniumnitratextraktion
BaP	Benzo(a)pyren
BArbB	Bundesarbeitsblatt
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BBK	Bodenbelastungskarte
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502)
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554)
BGH	Bundesgerichtshof
BW	Beurteilungswert
BW <sub>a</sub>	Beurteilungswert für die aktuelle Nutzung
BW <sub>Feinkornfraktion</sub>	Beurteilungswert bezogen auf gemessene Gehalte in der Feinkornfraktion < 63 $\mu$ m
BW <sub>gesamt</sub>	Beurteilungswert, bezogen auf gemessene Gesamtgehalte (< 2 mm)
BW <sub>RV</sub>	Beurteilungswert bezogen auf gemessene resorptionsverfügbare Gehalte (< 2 mm)
BWs	Beurteilungswert für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung
CLP-VO	Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures (Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen)
C <sub>p</sub>	Stoffgehalt im Ernteprodukt
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DIN EN	Deutsche Norm Europäische Norm
DNT	Dinitrotoluol
DU	Detailuntersuchung
EFSA	European Food and Safety Authority

EG	Europäische Gemeinschaft
EQ <sub>AD</sub>	Expositionsquotient für Aufenthaltsdauer
EQ <sub>AF</sub>	Expositionsquotient zur Berücksichtigung der Anbaufläche
EQ <sub>AH</sub>	Expositionsquotient für Aufenthaltshäufigkeit
EQ <sub>BA</sub>	Expositionsquotient für Bodenaufnahmemenge
EU	Europäische Union
f <sub>Anreicherung</sub>	Faktor für Anreicherung in der Feinkornfraktion < 63 µm
FBU	Fachbeirat Bodenuntersuchungen
Fgef	Gefahrenfaktor
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Anbau
fRV	Faktor für Resorptionsverfügbarkeit
g/a	Gramm pro Jahr
g/d	Gramm pro Tag
gBW	gebietsbezogener Beurteilungswert
GC-ICP-MS	Gas Chromatography - Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
GOK	Geländeoberkante
HCB	Hexachlorbenzol
HCH	Hexachlorcyclohexan (Lindan)
IFUA	Institut für Umwelt-Analyse Projekt GmbH, Bielefeld
IRK-UBA	Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes
KA5	Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage
Kas-Wert	Boden-Bodenluft-Verteilungskoeffizient
KD	gefahrenbezogene Körperdosis
kg KG	Kilogramm Körpergewicht
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen der Landwirtschaft e.V.
KW	Königswasserextraktion
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein Westfalen
LD Sachsen	Landesdirektion Sachsen
LfU BW	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
LFU BY	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
LfUG	Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen
LFULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen
LOAEC	Lowest Observed Adverse Effect Concentration
LUA BB	Landesumweltamt Brandenburg
LUA NRW	Landesumweltamt Nordrhein Westfalen

MantelV	Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung – hier zitiert in Form der Kabinettsvorlage (vgl. BT-Drucksache 18/12213 vom 03.05.2017 - nicht rechtsverbindlich)
MantelV/BBodSchV	Artikel 2 der MantelV: Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung (BbodSchV), BT-Drucksache 18/12213 vom 03.05.2017 - nicht rechtsverbindlich
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
NATO	North Atlantic Treaty Organization, Nordatlantikpakt-Organisation
OU	Orientierende Untersuchung
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane
PCP	Pentachlorphenol
PM10	Feinstaub, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ )
RV	Resorptionsverfügbarkeit
RW	Richtwert
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TDI	Tolerable Daily Intake
TEF	Toxizitätsäquivalenzfaktor (s. Anhang 2, Kap. 5)
TEQ	Toxizitätsäquivalent (s. Anhang 2, Kap. 5)
TNT	Trinitrotoluol
TOC	Total Organic Carbon, gesamter organischer Kohlenstoff
TRD	Tolerierbare Resorbierte Dosis
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UBA	Umweltbundesamt
V	Verzehrmenge
ZEBS	Zentrale Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien
2,3,7,8-TCDD	2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin

#### Quellennachweis:

Fotos, Karten, Abbildungen: IFUA-Projekt-GmbH

## 1. Zielsetzung und Anwendungsbereich

***Wer sind die Adressaten der Arbeitshilfe?***

***Was ist der Anwendungsbereich der Arbeitshilfe?***

***Welche Wirkungspfade werden behandelt?***

Die vorliegende Arbeitshilfe wendet sich an alle, die mit der systematischen Bearbeitung von schädlichen Bodenveränderungen/Altlasten befasst sind, insbesondere an Behörden, Untersuchungsstellen und Sachverständige.

***Adressaten***

Sie soll Anwendenden und Entscheidenden alle notwendigen Werkzeuge zur konkreten Ausgestaltung der Expositionsabschätzung und Risikobewertung innerhalb der Detailuntersuchung an die Hand geben und so helfen, die **Regelungen der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)** umzusetzen. Die Arbeitshilfe nimmt dabei auf die zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung **gültige BBodSchV von 12. Juli 1999** Bezug. Eine Novellierung der BBodSchV ist geplant und lag zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Arbeitshilfe in der Fassung der **Kabinettsvorlage der sogenannten MantelV** (vgl. BT-Drucksache 18/12213 vom 03.05.2017, Artikel 2) vor. Da die dort vorgelegte Reihenfolge der Paragraphen sowie die wesentlichen Inhalte nach Einschätzung der LABO in der Endfassung unverändert bleiben werden, werden zitierte Paragraphen mit Bezug auf beide Verordnungstexte aufgeführt. Es ist zu beachten, dass die aktuell rechtsverbindliche Fassung ihre Verbindlichkeit durch die ergänzenden Zitate nicht verliert. Die über die aktuell rechtsverbindliche Fassung hinausgehenden Hinweise (z.B. Prüfwerte) stellen aktuell fachlich am stärksten belastbare und abgestimmte ergänzende Vorgehensweisen dar.

***Anwendungsbereich der Arbeitshilfe?***

Ist eine Detailuntersuchung bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch erforderlich, ist die **konkrete Belastung** der diese Fläche nutzenden Menschen zu erfassen und zu bewerten. Nach § 4 Abs. 6 BBodSchV (§ 15 Abs. 5 MantelV/BBodSchV) sind dabei auch Teilflächen zu bewerten, die empfindlicher genutzt werden als andere. Nach § 4 Abs. 4 BBodSchG ist zudem die planungsrechtlich zulässige Nutzung des Grundstücks und das sich daraus ergebende

***Ermittlung der Belastung von Menschen ...***

Schutzbedürfnis zu beachten. Die Beziehung zwischen aktueller, planungsrechtlich zulässiger und denkbar empfindlichster Nutzung (**„sensibelste Nutzung“**) wird dargestellt und in den Ablauf einer Detailuntersuchung eingebunden.

Nach den Vorgaben der BBodSchV<sup>1</sup> ist in der Detailuntersuchung (DU) im Einzelfall ein Fokus auf die Mobilisierbarkeit und die Ausbreitungsmöglichkeiten der Schadstoffe aus dem Boden zu legen, die zur direkten oder indirekten Aufnahme von Schadstoffen durch Menschen führt.

Die Umstände des Einzelfalles werden bestimmt durch die örtlichen Gegebenheiten und die Grundstücksnutzung (vgl. Kapitel 4). Örtliche Gegebenheiten unterscheiden sich beispielsweise teilweise deutlich in der Verfügbarkeit der Schadstoffe. Ebenfalls sehr unterschiedlich können die Kontaktmöglichkeiten des Menschen zu belasteten Böden oder anderen dadurch betroffenen Schutzgütern, wie Nutzpflanzen oder Nutztieren sein (Exposition).

**...unter  
Beachtung  
örtlicher  
Gegebenheiten**

Die Quantifizierung der Expositionen erfolgt für verschiedene Wirkungspfade. Wirkungspfade sind definiert als Wege eines Schadstoffes von der Schadstoffquelle bis zu dem Ort einer möglichen Wirkung auf ein Schutzgut. Die direkte Bodenaufnahme wird beim **Wirkungspfad Boden-Mensch** betrachtet (vgl. Kapitel 5).

**Relevante  
Wirkungs-  
pfade**

In Abhängigkeit von der Flüchtigkeit eines Schadstoffes ist auch die Relevanz des **Wirkungspfades Boden-Bodenluft-Mensch** zu prüfen, der ebenfalls Gegenstand dieser Arbeitshilfe ist (vgl. Kapitel 6).

In privat genutzten Gärten können, zumeist zusätzlich zum Direktpfad Boden-Mensch, Schadstoffe aus dem Boden in Nutzpflanzen gelangen, die anschließend vom Menschen verzehrt (**Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch**, vgl. Kapitel 7) oder als Futterpflanze vom Nutztier (private Kleintierhaltung) aufgenommen und dann vom Menschen verzehrt werden (**Wirkungspfad Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch**, vgl. Kapitel 8). Daher werden diese Wirkungspfade in dieser Arbeitshilfe ebenfalls behandelt.

---

<sup>1</sup> vgl. § 2 Nr. 4 BBodSchV (§ 13 Abs. 1 der MantelV/BBodSchV).

Nicht Gegenstand dieser Arbeitshilfe ist der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze, soweit dessen Betrachtung allein auf **landwirtschaftliche** und **erwerbsgärtnerische Nutzungen** und die Bewertung der Nutzpflanzenqualität nach Maßgabe lebens- und futtermittelrechtlicher Regelungen und im Hinblick auf deren **Vermarktungsfähigkeit** bzw. das Inverkehrbringen abzielt. Hierzu wird auf bereits bestehende Arbeitshilfen verwiesen (LUA BB 2003, LUA BB 2010).

***NICHT  
betrachtet:  
landwirtschaftliche  
Nutzung!***

Ebenfalls nicht Gegenstand dieser Arbeitshilfe ist die Betrachtung des **Wirkungspfad des Boden-Grundwasser**, für den bereits ausführliche Arbeitshilfen (LABO 2003a, LABO 2006) erstellt wurden.

## 2. Detailuntersuchung im Ablauf der Gefahrenbeurteilung

**Was sind die Rahmenbedingungen der Detailuntersuchung?**

**Wie sind die Zuständigkeiten?**

**Wie sieht der Ablauf zur Gefahrenbeurteilung aus?**

**Wo findet sich die Expositionsabschätzung im Untersuchungsablauf?**

**Warum sind aktuelle und planungsrechtlich zulässige Nutzung zu unterscheiden?**

### 2.1. Rahmenbedingungen

Die Detailuntersuchung ist definiert als "... vertiefte weitere Untersuchung zur **abschließenden Gefährdungsabschätzung**, die insbesondere der Feststellung von Menge und räumlicher Verteilung von Schadstoffen, ihrer mobilen oder mobilisierbaren Anteile, ihrer Ausbreitungsmöglichkeiten in Boden, Gewässer und Luft sowie der Möglichkeit ihrer Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen dient."<sup>2</sup>

**Bodenschutz-  
rechtliche  
Vorgaben...**

Der Konkretisierungsgrad der BBodSchV für die Detailuntersuchung beschränkt sich im Wesentlichen darauf, dass festgestellt werden soll, "...ob sich aus räumlich begrenzten Anreicherungen von Schadstoffen innerhalb einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche Gefahren ergeben und ob und wie eine Abgrenzung von nicht belasteten Flächen geboten ist".<sup>3</sup> Außerdem sollen die "...für die Wirkungspfade maßgeblichen Expositionsbedingungen und die bedeutsamen resorptionsverfügbaren, mobilen oder mobilisierbaren Anteile der Schadstoffgehalte ermittelt werden"<sup>4</sup>.

**...konkrete  
Anforderungen**

**Voraussetzung für die Detailuntersuchung** ist der hinreichende Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast gemäß § 9 Abs. 2 Satz 1 des BBodSchG. Die Detailuntersuchung ist Bestandteil der Gefahrenbeurteilung, die im Überblick in *Abbildung 1* dargestellt ist.

**hinreichender  
Gefahren-  
verdacht**

<sup>2</sup> § 2 Nr. 4 BBodSchV (§ 13, Abs. 1 MantelV/BBodSchV)

<sup>3</sup> § 3 Abs. 5 BBodSchV (§ 13, Abs. 2 MantelV/BBodSchV)

<sup>4</sup> Anhang 1 Nr.1.2 BBodSchV (§ 13, Abs. 3 MantelV/BBodSchV)

Liegen die Voraussetzungen nach § 9 Abs. 2 Satz 1 vor, kann die zuständige Behörde anordnen, dass **die Pflichtigen** nach § 4 Abs. 3, 5 und 6 BBodSchG die notwendigen Untersuchungen durchführen. Die Pflichtigen tragen i. d. R auch die Kosten der Untersuchungen.

**Zuständigkeit**

Die Behörde kann dabei auch verlangen, dass die Untersuchungen durch **Sachverständige** und **Untersuchungsstellen nach § 18 BBodSchG** durchgeführt werden. Gemäß vorliegender Arbeitshilfe sollte die Behörde auch bei der Durchführung von Expositionsabschätzungen entsprechende Anforderungen stellen (vgl. *Kapitel 10*). Die abschließende Bewertung der Ergebnisse der Detailuntersuchung zur Prüfung der Rechtsfolgen, zur Ermessensausübung und Entscheidung ob bzw. welche Maßnahmen erforderlich sind, obliegt der zuständigen Behörde.

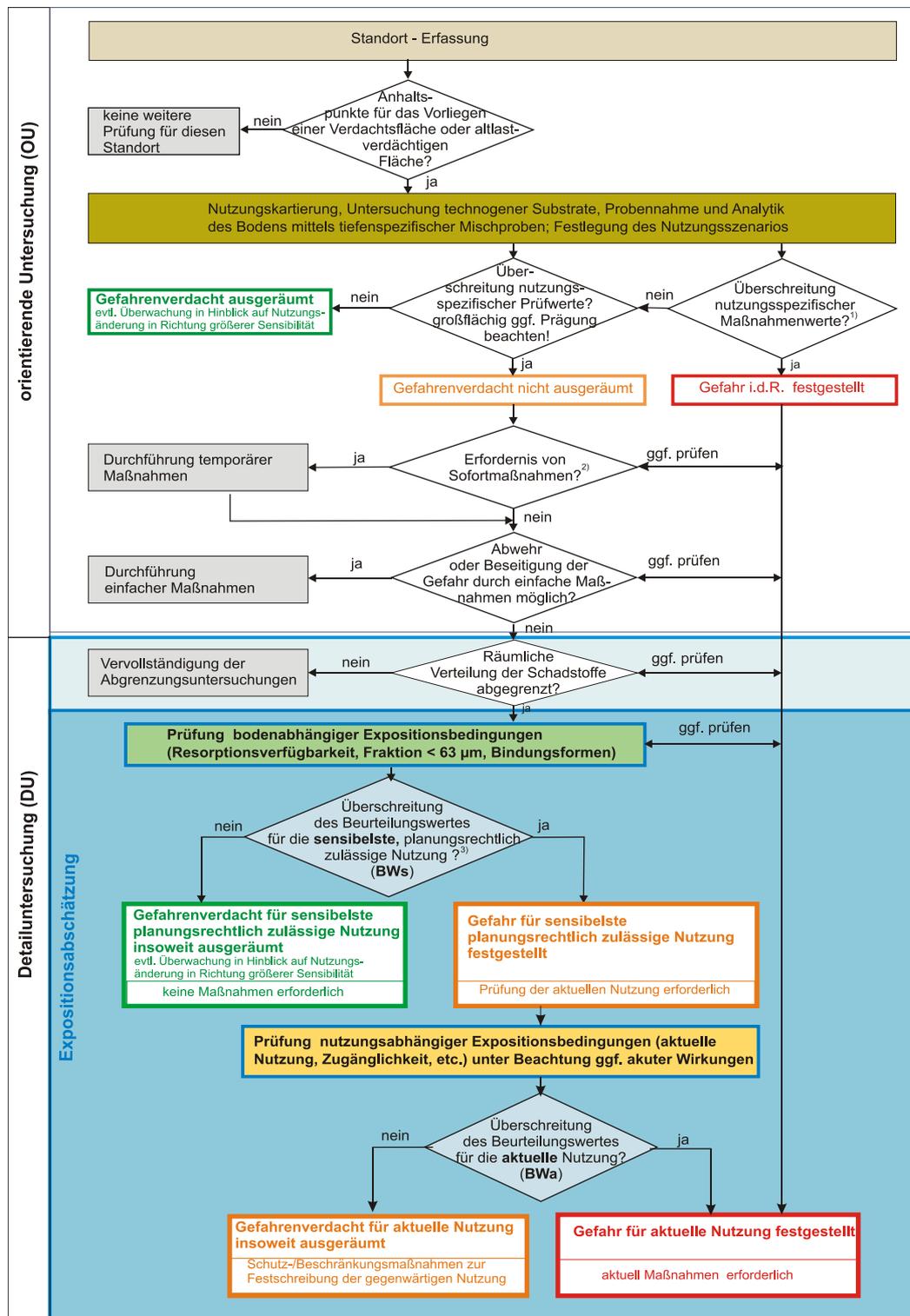
**Qualitätsanforderungen**

## **2.2. Ablauf der Gefahrenbeurteilung**

Die ersten Schritte im **Ablauf der Gefahrenbeurteilung** dienen dazu, den Standort zu erfassen und zu charakterisieren. Liegen **Anhaltspunkte** für eine Verdachtsfläche oder altlastverdächtige Fläche vor, werden im Rahmen **der orientierenden Untersuchung** i.d.R. Bodenuntersuchungen durchgeführt, wobei die Auswahl der relevanten Untersuchungsparameter sowie die Einordnung des zutreffenden Nutzungsszenarios (vgl. *auch Kapitel 4.2*) bzw. die Berücksichtigung der Prägung und ortsüblichen Nutzung (vgl. *auch Kapitel 4.3*) Einfluss auf die Beurteilung der Untersuchungsergebnisse nimmt.

**Vorüberlegungen**

Der Ablauf der der Gefahrenbeurteilung ist im Überblick in Abbildung 1 veranschaulicht.



1) Wirkungspfad Boden-Mensch (Dioxine) und Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch (Cadmium); ggf. Überprüfung der Annahmen, die der Ableitung des Maßnahmenwertes zugrunde liegen (Kapitel 2.2.2) sowie generell Überprüfung auf das Erfordernis von Sofortmaßnahmen (vgl. Kapitel 3.3.2.1) oder die Möglichkeit der Anwendung einfacher Maßnahmen (vgl. Kapitel 2.2.1)

Wirkungspfad Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch (Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, PCB6) (vgl. Kapitel 8)

2) bei Stoffen, für die der Prüfwert auf der Betrachtung akuter Wirkungen basiert (z.B. Cyanide) oder bei hohen Schadstoffkonzentrationen im Boden auch akute Wirkungen parallel betrachten (vgl. Kapitel 3.3.2.1)

3) großflächig ggf. ortsübliche Expositionsbedingungen zur Beschreibung der Prägung / sensibelsten, planungsrechtlich zulässigen Nutzung beachten!

**Abbildung 1: Ablauf zur Gefahrenbeurteilung für die Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Bodenluft-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch**

Für den Wirkungspfad Boden-Mensch liegen in der BBodSchV für eine Auswahl von Schadstoffen **Prüfwerte** für verschiedene Nutzungsszenarien (vgl. *Tabelle 3*) vor, während **Maßnahmenwerte** lediglich für Dioxine/Furane abgeleitet wurden.

Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze beinhaltet die BBodSchV ebenfalls Prüf- und Maßnahmenwerte (vgl. *Tabelle 10 und Tabelle 11*), wobei lediglich für Cadmium Maßnahmenwerte für Ackerbauflächen und Nutzgärten in Hinblick auf die Pflanzenqualität abgeleitet wurden<sup>5</sup>. Maßnahmenwerte für den Schadstoffübergang Boden-Nutzpflanze auf Grünlandflächen in Hinblick auf die Pflanzenqualität (vgl. *Tabelle 13*) können im Rahmen der Kleintier- und privaten Nutztierhaltung Bedeutung erlangen (vgl. *hierzu Kapitel 8*).

Für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch kann für flüchtige Stoffe orientierend auf Prüfwerte im Feststoff sowie in der Bodenluft (vgl. LABO 2008) zurückgegriffen werden. Falls für einen Stoff kein Prüf- oder Maßnahmenwert vorliegt oder sich fachliche Grundlagen (z.B. zur Toxikologie) seit der Ableitung verändert haben, finden sich Hinweise zum weiteren Vorgehen im Rahmen der Detailuntersuchung in *Kapitel 4.1*.

#### **Definitionen**

Zur Beurteilung schädlicher Bodenveränderungen sind bodenschutzrechtlich Prüf- und Maßnahmenwerte definiert (§ 8 Abs. 1 Nr. 2 BBodSchG):

**Prüfwerte:** "Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzel-fallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt"

**Maßnahmenwerte:** "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"

Soweit in der BBodSchV für einen Schadstoff keine Prüf- oder Maßnahmenwerte angegeben sind, "...sind für die Bewertung die zur Ableitung der entsprechenden Werte in Anhang 2 herangezogenen Methoden und Maßstäbe zu beachten".

#### **2.2.1. Abgleich mit Prüfwerten**

Werden bereits in der orientierenden Untersuchung **alle relevanten Prüfwerte** (vgl. *Kasten zu Prüf- und Maßnahmenwerten*) **unterschritten**, ist der Gefahren-

**Gefahrenver-  
dacht?**

<sup>5</sup> vgl. Anhang 2 der BBodSchV ( Anlage 2 der MantelV/BBodSchV)

verdacht in Bezug auf die betrachteten Schadstoffe insoweit ausgeräumt. Bei einer **Überschreitung** von einem oder mehreren nutzungsbezogenen Prüfwerten hat sich der Gefahrenverdacht bestätigt und es ist eine Detailuntersuchung erforderlich.

Für diese erste Beurteilung ist dem **sensibleren Nutzungsszenario** Vorrang zu geben (z.B. "Kinderspielfläche" statt "Wohngebiet"), um auch eine mögliche ggf. künftige sensiblere Nutzung nicht außer Acht zu lassen. Bei großflächigen Belastungen kann hier ggf. auch die Prägung oder ortsübliche Nutzung definiert werden und Eingang in die Bewertung finden (*vgl. auch Kapitel 9.3*).

**Wahl des Szenarios**

Grundsätzlich sollte nach Überschreitung eines Prüfwertes zunächst **das Erfordernis von Sofortmaßnahmen** geprüft werden, das sich beim Vorkommen von Stoffen mit akuter Wirkung (*vgl. Kapitel 3.3.2.1*) wie beispielsweise Cyaniden oder bei sehr hohen Stoffgehalten, wie beispielsweise Arsen (*vgl. Kapitel 5.1.1*), ergeben kann. In dem Fall kann sich die Durchführung einer Expositionsabschätzung in Abhängigkeit der ergriffenen Sofortmaßnahmen ggf. erübrigen oder vereinfachen.

**Akute Wirkungen?**

Von Detailuntersuchungen kann auch dann abgesehen werden, "wenn die von den schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten ausgehenden Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen nach Feststellung der zuständigen Behörde mit einfachen Mitteln abgewehrt oder sonst beseitigt werden können"<sup>6</sup>. Dazu zählen z. B. **Nutzungsbeschränkungen, Nutzungsänderungen oder Betretungsverbote sowie ggf. andere (einfache) Maßnahmen**, auf die sich die Beteiligten ohne eine Detailuntersuchung verständigen. Lässt sich der Gefahrenverdacht im Rahmen der orientierenden Untersuchung insoweit nicht ausräumen und sind keine einfachen Maßnahmen zur Abwehr oder Beseitigung der Gefahr möglich, ist eine Detailuntersuchung durchzuführen.

**Einfache Maßnahmen möglich?**

### 2.2.2. Überschreitung von Maßnahmenwerten

Werden Maßnahmenwerte überschritten, ist in der Regel vom Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen. In diesem Fall ist zu

**Welche Maßnahmen?**

---

<sup>6</sup> vgl. § 3 Abs. 5 BBodSchV, bzw. § 10, Abs. 5 MantelV/BBodSchV

prüfen, ob das Erfordernis von **Sofortmaßnahmen** besteht (vgl. Kapitel 3.3.2.1), die Durchführung **einfacher Maßnahmen** zur Abwehr oder Beseitigung der Gefahr möglich und ausreichend ist (vgl. Kapitel 2.2.1) oder ob zur Entscheidung noch **weitere Informationen** zu erheben sind, z.B. zur räumlichen Ausdehnung der Belastung.

Sollten sich Hinweise darauf ergeben, dass die den Maßnahmenwerten zugrundeliegenden Annahmen von den Gegebenheiten im konkreten Einzelfall abweichen, sind ggf. - vergleichbar zum Vorgehen bei Prüfwertüberschreitung - spezielle Untersuchungen anzuraten. Beispielsweise lassen sich im Falle von Überschreitungen des Maßnahmenwertes für Cadmium für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch (vgl. Kapitel 7.2.2 und 7.2.3) durch die Bestimmung der pH-Werte Maßnahmen konkretisieren.

**Prüfung des Einzelfalls?**

**Beispiel Cadmium**

### **2.3. Wesentliche Bestandteile der DU**

Eine wesentliche Aufgabe der Detailuntersuchung liegt in der **räumlichen Eingrenzung** der Schadstoffverteilung. Diese ist nicht Gegenstand dieser Arbeitshilfe - hierzu liegen andernorts Arbeitsmaterialien vor (vgl. Anhang 6). Schwerpunkt dieser Arbeitshilfe stellt die **Prüfung der Expositionsbedingungen** zur Beurteilung von schädlichen Bodenveränderungen in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch dar (vgl. Kapitel 3).

**Prüfung der Exposition**

Als Bewertungsmaßstab für die Expositionsabschätzung werden in dieser Arbeitshilfe Beurteilungswerte errechnet. Diese **einzelfall- oder gebietsbezogenen Beurteilungswerte** verstehen sich als **Maßnahmenwerte**, anhand derer die abschließende Gefahrenbeurteilung durchzuführen ist. Weitere Ausführungen dazu finden sich unter *Kapitel 3.3.2* und bei den entsprechenden Wirkungspfaden sowie *Kapitel 9.3*.

**Beurteilung der Exposition**

Zur Ableitung der **einzelfallbezogenen Beurteilungswerte (BW)** ist zunächst die **sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung (s)** unter Berücksichtigung **der bodenabhängigen Expositionsbedingungen** (vgl. Kapitel 3.3.1) zu betrachten (**BWs**), ggf. kann die Nutzung auch durch die Prägung des Gebietes bzw. durch Expositionsannahmen zur ortsüblichen Nutzung (vgl. Kapitel 4.3) konkretisiert werden.

#### Vorgaben des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG)

BBodSchG, §4 (4) "Bei der Erfüllung der boden- und altlastenbezogenen Pflichten [nach den Absätzen 1 bis 3] ist **die planungsrechtlich zulässige Nutzung** des Grundstücks und das sich daraus ergebende Schutzbedürfnis zu beachten, [soweit dies mit dem Schutz der in § 2 Abs. 2 Nr. 1 und 2 genannten Bodenfunktionen zu vereinbaren ist]. Fehlen planungsrechtliche Festsetzungen, bestimmt die Prägung des Gebiets unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung das Schutzbedürfnis. [...]"

Werden die für den Einzelfall ermittelten Beurteilungswerte **BWs** für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung **unterschritten**, ist der Gefahrenverdacht insoweit ausgeräumt. Bei **Überschreitung von BWs** gilt die Gefahr für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung als festgestellt.

**BW für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung**

In einem weiteren Schritt können dann die **aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen (a)** betrachtet und **Beurteilungswerte BWa** zur Beurteilung der aktuellen Nutzung ermittelt werden.

**BW für die aktuelle Nutzung**

Ist bei festgestellter Gefahr für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung der **Gefahrenverdacht für die aktuelle Nutzung** durch die Detailuntersuchung **insoweit ausgeräumt**, sind Schutz-/Beschränkungsmaßnahmen zur Festbeschreibung des Status Quo der aktuellen Nutzung notwendig.

Wird die **Gefahr auch für die aktuelle Nutzung festgestellt** sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich.

In bestimmten Fällen, wie beispielsweise auf Kinderspielplätzen (*vgl. Kapitel 5.3*), können die aktuelle und die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung ggf. gleich gesetzt werden (**BWs = BWa**).

#### 2.4. Planungsrechtlich zulässige / aktuelle Nutzung

Während sich die planungsrechtlich zulässige Nutzung aus dem **Baurecht** in Verbindung mit der **Bauleitplanung** ergibt, kann sich die aktuelle Nutzung in der Praxis insbesondere für den Wirkungspfad Boden-Mensch davon unterscheiden (*vgl. Kapitel 3.3*). Die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung bildet die auf der Fläche potenziell mögliche, sensibelste Nutzung ab, während die aktuelle Nutzung eine Momentaufnahme für die gegenwärtige Nutzung der zu untersuchenden Fläche darstellt.

**Definitionen**

### **Nutzungsabgrenzungen**

In Flächennutzungsplänen werden nach Baugesetzbuch (BauGB § 5 und BauNVO) Bauflächen differenziert nach Wohnbauflächen, gemischte Bauflächen, gewerbliche Bauflächen und Sonderbauflächen z.B. für Erholung, Kuranlagen, Einkaufszentren. Davon abgegrenzt werden Gemeinbedarfsflächen (z.B. Schulen, Kirchen, soziale und gesundheitliche Einrichtungen) sowie Grünflächen (Parkanlagen, Kleingärten, Sport- und Spielplätze).

Den Wohnbauflächen können je nach Art der Bebauung und Gestaltung der Freiflächen (Ausprägung des Gebietes) vornehmlich die Nutzungsszenarien Wohngebiet oder Hausgarten zugeordnet werden, wobei dort ggf. für Freiflächen, die beispielsweise Geschäften, Handwerksbetrieben oder Anlagen des Gemeinbedarfs zugeordnet werden können, andere Nutzungsszenarien zur Bewertung heranzuziehen sind.

Für gemischte Bauflächen, die durch ein Nebeneinander verschiedener wohnbaulicher und gewerblicher Nutzungen gekennzeichnet sind, ist eine Verallgemeinerung in Bezug auf die Nutzungsszenarien nicht möglich.

Den gewerblichen Bauflächen entspricht in erster Linie das Nutzungsszenario "Industrie- und Gewerbegrundstücke" (auch bei Flächen für Versorgungs- und Entsorgungsanlagen ist diese Zuordnung naheliegend), wengleich in Teilbereichen als Ausnahmen auch andere Nutzungsszenarien zutreffen können (z.B. Wohngärten oder Kinderspielflächen, die Wohnungen für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen, Betriebsinhaber oder Betriebsleiter angegliedert sind).

Diese Einschränkung, dass neben vorherrschenden Nutzungen Teilbereiche mit anderen Szenarien anzusprechen sind, gilt generell; so können Kinderspielflächen in die verschiedensten planungsrechtlichen Nutzungen integriert sein, also auch in Wohnbauflächen, Kleingärten oder Park- und Freizeitanlagen.

Nutzgärten werden in der BauNVO explizit als zulässige Nutzungen innerhalb von Kleinsiedlungs- und Dorfgebieten genannt.

### **Aktuelle Nutzung**

Als aktuelle Nutzung wird die tatsächliche gegenwärtige Nutzung bezeichnet, die im Einzelfall von der planungsrechtlich zulässigen Nutzung abweichen kann.

Grundsätzlich gibt das Planungsrecht zwar Hinweise auf die vorherrschenden Nutzungsszenarien, im Einzelfall sind jedoch Abweichungen möglich, so dass immer eine Prüfung erforderlich ist, vor allem auch in Hinblick auf die Auswahl der sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung<sup>7</sup>.

### **Kurz gesagt:**

***Die Detailuntersuchung ist fester Bestandteil des Untersuchungsablaufes im Falle des hinreichenden Verdachtes schädlicher Bodenveränderungen oder Altlasten. Steht aufgrund der Nutzung der Fläche der Wirkungspfad Boden-Mensch im Fokus der Betrachtung, muss im Rahmen der Detailuntersuchung i.d.R. eine Expositionsabschätzung durchgeführt werden, die die Expositionsbedingungen für die Betroffenen vor dem Hintergrund der sensibelsten planungsrechtlich zulässigen sowie ggf. auch der aktuellen Nutzung prüft und abschließend beurteilen lässt.***

<sup>7</sup> Es ist darauf hinzuweisen, dass sich ein Gefahrenverdacht grundsätzlich auch erneut einstellen kann, insbesondere wenn eine Fläche eine Nutzungsänderung (hin zu einer vergleichsweise sensibleren Nutzung) erfährt. Dieses gilt auch, wenn neue Erkenntnisse zum Schadstoffinventar bzw. zur Bewertung von Schadstoffwirkungen vorliegen. Diese Problematik kann jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeitshilfe sein.

### 3. Vorgehensweise zur Expositionsabschätzung

*Was ist mit Expositionsabschätzung gemeint?*

*Was sind die Schritte der Expositionsabschätzung?*

*Was ist bei der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen?*

*Wann sind Expositionsabschätzungen verzichtbar?*

#### 3.1. Das Prinzip

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.

*Definition*

In der Detailuntersuchung werden die Expositionsbedingungen am Standort geprüft und mit den Standardannahmen, die bei der Prüfwerteableitung der BBodSchV (vgl. auch UBA 1999ff) angesetzt wurden, abgeglichen. So 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.

#### 3.2. Ablauf

Eine Expositionsabschätzung umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Standortcharakterisierung
- Prüfung der standörtlichen Expositionsbedingungen
- Abschließende Risikobewertung und Gefahrenbeurteilung

*Schritte der Expositionsabschätzung*

Allen Schritten der Expositionsabschätzung ist grundsätzlich immer die Frage nach dem Erfordernis von Sofortmaßnahmen voranzustellen. Im Falle zu befürchtender **akuter Wirkungen für die menschliche Gesundheit**, entweder aufgrund der akuten Wirkungen von Schadstoffen oder der Höhe der vorkommenden Schadstoffgehalte, kann möglicherweise Gefahr im Verzug sein, die ein sofortiges Handeln erzwingt und die Dringlichkeit sowie ggf. die Planung weiterer Untersuchungsschritte oder auch die Durchführung temporärer Maßnahmen zur Sicherung bestimmt.

*Akute Wirkung prüfen!*

Abbildung 2 veranschaulicht die einzelnen Arbeitsschritte und gibt Verweise auf die jeweiligen Kapitel in dieser Arbeitshilfe.

Standortcharakterisierung	Charakterisierung des Schadstoffinventars (vgl. Kapitel 4.1)	Charakterisierung der Nutzung bzw. der Nutzungsszenarien (vgl. Kapitel 4.2)	Untersuchungen an Transfer-/Aufnahmemedien oder am Schutzgut (vgl. Tabelle 2)
Prüfung der Expositionsbedingungen und Planung und Durchführung von Untersuchungen	<b>Prüfung von Sofortmaßnahmen aufgrund akuter Wirkungen oder hoher Schadstoffgehalte/-konzentrationen</b>		Innenraumlufmessungen (vgl. Kap. 6.4)  Pflanzenuntersuchungen (vgl. Kap. 7.4; 8.2)  Untersuchung tierischer Produkte (vgl. Kap. 8.3)  Humanbiomonitoring (vgl. Kap. 9.4)
	<b>bodenabhängige Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 5.2; 6.2; 7.2)</b>  Gesamtgehalte im Boden (vgl. Kap. 5.2.1; 6.2.1; 7.2.1; 8.1)  Oxidationsstufen (vgl. Kap. 5.2.2)  Bindungsformen (vgl. Kap. 5.2.3)  Resorptionsverfügbarkeit (vgl. Kap. 5.2.4)  Gehalte in der Fraktion < 63 µm (vgl. Kap. 5.2.5)  Staubkonzentration (vgl. Kap. 5.2.6)  Konzentrationen in der Bodenluft (vgl. Kap. 6.2.2)  Pflanzenverfügbarkeit (vgl. Kap. 7.2.2; 8.1)  verfügbarkeitsbestimmende Bodenfaktoren (vgl. Kap. 7.2.3)  Transferabschätzung Boden-Nutzpflanze (vgl. Kap. 7.2.4)  Anreicherungsverhalten von Nutzpflanzen (vgl. Kap. 7.2.5)	<b>nutzungsabhängige Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 5.3; 6.3; 7.3)</b>  Zugänglichkeit des Bodens (vgl. Kap. 5.3.1)  Aufenthaltshäufigkeit und -dauer (vgl. Kap. 5.3.2)  Art und Zustand von Gebäuden (vgl. Kap. 6.3.1)  Gebäudenutzung (vgl. Kap. 6.3.2)  Nutzpflanzenauswahl (vgl. Kap. 7.3.1)  Anbau- und Verzehrmenen (vgl. Kap. 7.3.2)  Anbaufläche (vgl. Kap. 7.3.2)  Vorhandensein von Nutztieren (vgl. Kap. 8)	
Abschließende Gefährdungsabschätzung	<b>Beurteilung der Ergebnisse und Risikobewertung</b>  Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad) (vgl. Kap. 5.4) Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch (vgl. Kap. 6.5) Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch (vgl. Kap. 7.5) Wirkungspfad Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch (vgl. Kap. 8)  Integrative Betrachtung der Wirkungspfade (vgl. Kap. 9.1)		

Abbildung 2: Schritte der Expositionsabschätzung

Die jeweiligen Farben werden als Kennzeichnung im Folgenden in der Arbeitshilfe weiterverwendet.

Zur Durchführung einer Expositionsabschätzung ist die **Kenntnis des Schadstoffinventars** sowie der **Nutzung der Fläche** notwendig. Diese Informationen werden oftmals bereits im Rahmen der orientierenden Untersuchung erfasst und sind im Rahmen der **Standortcharakterisierung** (vgl. Kapitel 4) abschließend zu erheben.

Die anschließend zu prüfenden standörtlichen Expositionsbedingungen sind zu differenzieren nach **bodenabhängigen Expositionsbedingungen** und **nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen**. Die Prüfung der Expositionsbedingungen kann deshalb einerseits die Untersuchung bodenabhängiger Einflüsse (vgl. Kapitel 5.2, 6.2, 7.2) auf die Verfügbarkeit der Schadstoffe, andererseits aber auch die Ermittlung relevanter Nutzergruppen und deren Nutzungsverhalten (Gestaltung der Fläche, Nutzungsdauer, -häufigkeit und -intensität, Anbaugewohnheiten etc.) beinhalten (vgl. Kapitel 5.3, 6.3, 7.3). Neben der aktuellen Nutzung ist dabei stets auch die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung mit zu betrachten (vgl. Kapitel 2.3).

Zusätzliche Informationen können **Untersuchungen an Transfer-/Aufnahmemedien oder an Schutzgütern** liefern (vgl. Kapitel 6.4; 7.4; 8.2, 8.3 und 9.4). Alle Ergebnisse zusammen bilden schließlich die Grundlage für eine wirkungspfadbezogene **Gefahrenbeurteilung** und abschließende Gefährdungsabschätzung (vgl. Kapitel 5.4, 6.5, 7.5, 8, 9.1).

In *Anhang 1* findet sich eine Checkliste zur Prüfung der einzelnen Arbeitsschritte einer Expositionsabschätzung.

**Checkliste zur Expositionsabschätzung!**

### 3.3. Grundsätze der Standortcharakterisierung

Fundierte Kenntnisse zum standortspezifischen Schadstoffinventar (vgl. Kapitel 4.1) sowie dessen physikalisch-chemischer sowie humantoxikologischer Eigenschaften sind erforderlich, um für den weiteren Untersuchungsablauf zu erkennen, welche Wirkungs- und Aufnahmepfade zu beachten sind (vgl. Kapitel 4.2 und *Anhang 2*). Ist ein Stoff beispielsweise leicht flüchtig, ist der Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch zu beachten (vgl. Kapitel 6).

**Schadstoffinventar**

Nutzungsszenarien zur Charakterisierung des Standortes werden i.d.R. bereits bei der Probenahmestrategie der orientierenden Untersuchung zugeordnet (vgl. Kapitel 4.3). Bei Detailuntersuchungen ist die Festlegung des Nutzungsszenarios entscheidend für die vertiefende Sachverhaltsermittlung. Spätestens zu diesem Zeitpunkt ist zu klären, welches Nutzungsszenario als das sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzungsszenario zur Bewertung heranzuziehen ist (vgl. Kapitel 2).

Dies ist insbesondere im Falle einer wohnbaulichen Nutzung relevant, wenn Fragen hinsichtlich der planungsrechtlichen Zulässigkeit des Nutzpflanzenanbaus oder der Nutzung als Kinderspielfläche zu klären sind (vgl. Kapitel 4.2).

Die Benennung des Schadstoffinventars und die Festlegung der relevanten Nutzungsszenarien entscheiden über die in der Expositionsabschätzung relevanten Wirkungs- und Aufnahmepfade am Standort (vgl. Kapitel 4.1 und Kapitel 4.2, Tabelle 1 und Tabelle 2).

So zeigen sich beispielsweise für die Nutzungsszenarien "Kinderspielflächen", "Wohngebiete" und "Park- und Freizeitanlagen" für Blei die sensibelsten Wirkungen nach langfristiger oraler Aufnahme, während für Chrom die inhalative Aufnahme ausschlaggebend für die Risikoabschätzung ist (siehe Anhang 2 und insbesondere die dort zitierte Quelle UBA 1999ff.). Danach richten sich Planung und Durchführung zur Prüfung der Expositionsbedingungen.

### **3.3.1. Prüfung der Expositionsbedingungen**

Zur Ableitung der Prüfwerte der BBodSchV wurden **Standardannahmen** sowohl zur Mobilität und Verfügbarkeit der Schadstoffe im Boden als auch für Aufnahmemengen und Expositionshäufigkeiten getroffen, die in der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161 a veröffentlicht sind (vgl. auch UBA 1999ff). Details hierzu finden sich auch in *Anhang 3*. Diese Annahmen sind für eine Gefahrenbeurteilung **im Einzelfall zu überprüfen**.

In Abhängigkeit der relevanten Wirkungs- und Aufnahmepfade (vgl. Kapitel 4.2) sowie der **Stoffeigenschaften** (vgl. Kapitel 4.1) ist die Prüfung der **bodenabhängigen Expositionsbedingungen** am Standort durchzuführen.

Dazu wird das standortspezifische Vorliegen des Schadstoffes bzw. seine Verfügbarkeit im betreffenden Boden bestimmt oder abgeschätzt (vgl. Kapitel 5.2, 6.2, 7.2), beispielsweise durch Bestimmung:

- der Oxidationsstufe oder Bindungsform eines Schadstoffes (vgl. Kapitel 5.2.2 und 5.2.3),
- der Resorptionsverfügbarkeit (bei oral wirksamen Stoffen, vgl. Kapitel 5.2.4),
- der Gehalte in der Feinkornfraktion < 63 µm (bei inhalativ wirksamen Stoffen, vgl. Kapitel 5.2.5),
- der Pflanzenverfügbarkeit (Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch, vgl. Kapitel 7.2.2)
- oder weiterer verfügbarkeitsbestimmender Faktoren (z.B. pH-Wert, vgl. Kapitel 7.2.3).

Die Untersuchung bodenabhängiger Expositionsbedingungen ist i.d.R. mit vergleichsweise geringem Aufwand durchzuführen und die Ergebnisse sind in nur geringem Maße kurzfristigen Änderungen unterworfen.

Prüfungen der **nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen** sind sinnvoll, sofern **Abweichungen der aktuellen standörtlichen Gegebenheiten von den Standardannahmen** zu erwarten sind (vgl. Kapitel 5.3, 6.3, 7.3, siehe Anhang 3). Das ist häufig der Fall bei wohnbaulich genutzten Flächen, wo ein breites Nutzungsspektrum der Fläche - von selten genutzten Abstandsgrünflächen bis hin zu intensiv und individuell genutzten Hausgärten - zu betrachten ist.

Auf **öffentlich genutzten Flächen**, wie Kinderspielplätzen oder Park- und Freizeitanlagen, ist dagegen kaum mit vom Standardszenario abweichenden Nutzungsgewohnheiten zu rechnen, so dass Abweichungen von den Standardannahmen gut begründet werden müssen.

Für Flächen, die in ihrer Nutzung deutlich von den vorgegebenen Standardszenarien abweichen (Sportplätze, Freibäder etc.) sind die Prüfung und Anpassung der nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen in besonderem Maße notwendig. Ggf. ist die Definition neuer Szenarien sinnvoll (vgl. Kapitel 9.2.1).

**Bodenabhängige Expositionsbedingungen**

**Nutzungsabhängige Expositionsbedingungen**

**...gut begründet?**

**Neue Szenarien oder Nutzergruppen**

Vor der Durchführung von Expositionsabschätzungen ist ein **geeignetes Untersuchungskonzept** zu erstellen, mit Hilfe dessen die nachfolgenden Datenerhebungs- und Untersuchungsschritte zeitlich und inhaltlich strukturiert (Priorisierung, Stufenkonzept) werden.

**Planung und Durchführung**

### 3.3.2. Abschließende Risikobewertung und Gefahrenbeurteilung

Die Risikobewertung erfolgt durch die Beurteilung der gesundheitlichen Wirkungen des Schadstoffinventars (Wirkung eines Stoffes) und Quantifizierung der Expositionsbedingungen gegenüber dem Schadstoff (Dosis eines Stoffes).

**Wirkung und Dosis**

Zur Gefahrenbeurteilung werden für toxische Stoffe Konzepte für Dosis-Wirkungsbeziehungen (chronische Toxizität) und Wirkschwellen (akute Toxizität) herangezogen, für kanzerogene Stoffe Krebsrisikoabschätzungen. Gemäß den Methoden und Maßstäben für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV (BBodSchVa, 1999) ist für den Einzelfall die **hinreichende Wahrscheinlichkeit eines Schadeneintritts** zu ermitteln. Bei der Prüfwerteableitung wird dies durch sogenannte Gefahrenfaktoren ( $F_{gef}$ ) sichergestellt (vgl. Kapitel 4.1 und Anhang 3). Entsprechendes gilt für die einzelfall- oder gebietsbezogenen Beurteilungswerte (Maßnahmenwerte).

**Gefahrenbezug**

Zur Beurteilung **der sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung** werden je nach Wirkungs- und Aufnahmepfad die bodenabhängigen Expositionsbedingungen herangezogen, die den für den Menschen relevanten Anteil des Schadstoffes im Boden charakterisieren (vgl. Kapitel 5.2, 6.2, 7.2). Daraus kann ein **Beurteilungswert für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung (BWs)** ermittelt werden.

**Beurteilungswert BWs**

Wird die **aktuelle Nutzung** durch Berücksichtigung der nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen betrachtet (vgl. Kapitel 5.3, 6.3, 7.3), kann ein **Beurteilungswert für die aktuelle Nutzung (BWa)** ermittelt werden.

**Beurteilungswert BWa**

In der Detailuntersuchung sind bei der Gefahrenbeurteilung grundsätzlich auch die bei der Ableitung einzelner Prüfwerte getroffenen **Plausibilitätsabwägungen** und Sonderfälle zu berücksichtigen (vgl. *Anhang 2*). So sind die jeweils errechneten Beurteilungswerte grundsätzlich nochmals mit den Ableitungsbedingungen der Prüfwerte abzugleichen.

Zu beachten ist beispielsweise, dass der Prüfwert für Cadmium aufgrund von Plausibilitätsprüfungen gegenüber dem methodisch abgeleiteten Wert verdoppelt wurde. Bei Arsen kamen Überlegungen zur Aufnahme aus Nahrungsmitteln zum Tragen; für Blei basiert der Prüfwert letztlich auf einer Zusammenschau von Biomonitoring-Daten aus Duisburg zur Blutbleibelastung von Kindern und den ermittelten Bodengehalten (vgl. UBA 1999ff).

Die **abschließende Gefährdungsabschätzung** basiert auf einer Zusammenschau der Ergebnisse der Risikobewertung und aller standörtlichen Erkenntnisse. Sie stellt eine **zusammenfassende gutachterliche Leistung** dar, bei der formal abgeleitete Beurteilungswerte lediglich als Werkzeug dienen.

### 3.3.2.1 Akute Toxizität und sofortiger Handlungsbedarf

Parallel zu den bisher genannten Szenarien ist bei vielen Stoffen auch die **akute Toxizität** bei **einmaliger hoher Bodenaufnahmemenge** durch spielende (Klein-)Kinder zu beachten (vgl. *Kapitel 5.3.1*). Dies gilt nicht nur für Kinderspielflächen, sondern auch für Park- und Freizeitflächen, Sport- und Bolzplätze oder sonstige frei zugängliche Brach- oder Grünflächen (u.U. auch Gewerbeflächen), die von (Klein-) Kindern ungehindert erreicht werden können.

Nur bei wenigen Stoffen sind **akute toxische Wirkungen** für die Höhe der Prüfwerte ausschlaggebend oder mitentscheidend (z.B. Cyanide; (vgl. UBA 1999ff)).

Liegen bei anderen Parametern **sehr hohe Schadstoffgehalte** vor, können akute Wirkungen dennoch nicht generell ausgeschlossen werden (z.B. Bleischrot auf Wurfscheibenschießanlagen oder bei Industriebrachen). Im Einzelfall kann es notwendig werden, mit Blick auf Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr Beurteilungswerte für diese Wirkungen festzulegen. Abgestimmte Akutwerte für weitere Stoffe (wie Arsen) finden sich in *Anhang 2*.

Vorgaben der  
BBodSchV

abschließende  
Bewertung

Akute  
Wirkungen

...durch  
einmalige  
Exposition

...durch  
sehr hohe  
Schadstoff-  
gehalte

Werden Beurteilungswerte für Stoffe, für die akut toxische Wirkungen bestimmend sind (vgl. *Tabelle 3*), überschritten, sind i.d.R. Sofortmaßnahmen einzuleiten. Hierbei kann die **Zugänglichkeit** der Fläche oder ggf. (wie bei Arsen) auch die **Resorptionsverfügbarkeit** (vgl. *Kapitel 5.2.4*) die Dringlichkeit von Maßnahmen konkretisieren.

**Sofortmaßnahmen**

### 3.3.2.2 Schnittstellen zu anderen Sach- und Rechtsbereichen

Mittels Expositionsabschätzungen sollen gesundheitliche Auswirkungen, die von Bodenbelastungen ausgehen beurteilt werden. Es gibt Überschneidungen zu anderen klassisch gesundheitsbezogenen Fragestellungen, wenn beispielsweise Stoffgemische mit (vermutlichen oder bekannten) gleichen oder ähnlichen Wirkungspunkten, nicht geregelte Stoffe oder neue Nutzungsszenarien zu beurteilen sind. Hier kann es erforderlich werden, entsprechende **Sachkunde aus dem Bereich der Umwelthygiene oder Umweltmedizin** hinzuzuziehen. Ggf. sind auch Schnittstellen zu anderen Rechtsbereichen bzw. Übertragungsmöglichkeiten von Bewertungsgrundlagen zu prüfen (vgl. *Kapitel 4.1.3, 10.2 und 10.3*).

**Möglichkeiten und Grenzen**

### 3.4. Entbehrlichkeit von Expositionsabschätzungen

Eine aufwändige Prüfung der Expositionsbedingungen ist dann entbehrlich, wenn daraus kein Erkenntnisgewinn für die abschließende Gefährdungsabschätzung zu erwarten ist. Dies ist i. d. R. der Fall, wenn:

1. die gemessenen Gesamtgehalte die anzuwendenden Prüfwerte sehr deutlich überschreiten (beispielsweise ab einer 10-fachen Überschreitung der Prüfwerte sind Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit nicht mehr zielführend; vgl. *Kapitel 5.2.4*);
2. einfache Maßnahmen zur Gefahrenabwehr umsetzbar sind (z.B. die Anhebung des pH-Wertes durch Kalkungsmaßnahmen zur Verringerung der Pflanzenverfügbarkeit);
3. Maßnahmenwerte überschritten werden und die Annahmen der Regelvermutung nicht begründet in Zweifel zu ziehen sind (vgl. *Kapitel 2.2.2*);
4. repräsentative Daten oder Informationen insbesondere für großflächige homogene Belastungen vorliegen, die auf einzelne (Teil-)Flächen (beispielsweise Kleingartenparzellen) übertragen werden können (vgl. *Kapitel 7 bis 9*).

**Verzicht auf eine Expositionsabschätzung?**

**Kurz gesagt:**

**Expositionsabschätzungen werden im Rahmen von Detailuntersuchungen durchgeführt. Sie sollen eine Gefahrenbeurteilung und abschließende Gefährdungsabschätzung für die Wirkungspfade Boden-Mensch und/oder Boden-Nutzpflanze-Mensch sowie bei Erfordernis auch für die Wirkungspfade Boden-Bodenluft-Mensch und/oder Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch ermöglichen. Entscheidend für die Durchführung einer Expositionsabschätzung ist die Standortcharakterisierung, die das Stoffinventar konkretisiert und die Nutzung der Flächen im Blick hat. Zu differenzieren ist zwischen aktueller und sensibelster planungsrechtlich zulässiger Nutzung der Flächen. Zur Prüfung der Expositionsbedingungen muss schadstoff- und nutzungsabhängig die Untersuchungsstrategie festgelegt werden. Im ersten Schritt dient die Prüfung bodenabhängiger Expositionsbedingungen zur Klärung der Mobilität und Verfügbarkeit der Schadstoffe im Boden. Im zweiten Schritt kann mit Hilfe der Erhebung nutzungsabhängiger Expositionsbedingungen die aktuelle Nutzung der Fläche konkretisiert und beurteilt werden. Die Beurteilung der Ergebnisse orientiert sich an der Art der Schadstoffwirkungen, für die ein hinreichender Gefahrenverdacht anzunehmen ist. Im Einzelfall kann auch von einer Expositionsabschätzung begründet abgesehen werden.**

## 4. Standortcharakterisierung

**Wie wird das Schadstoffinventar bewertet?**  
**Welche Bewertungsgrundlagen gibt es?**  
**Welche Wirkungs- und Aufnahmepfade sind zu betrachten?**  
**Wie sind die Nutzungsszenarien definiert?**  
**Welches Nutzungsszenario ist zu wählen?**

Wesentliche Schritte der Standortcharakterisierung sollten bereits in der orientierenden Untersuchung (OU) durchgeführt worden sein, offene Punkte sind in der Detailuntersuchung abschließend zu klären (vgl. *Checkliste in Anhang 1*).

### 4.1. Charakterisierung des Schadstoffinventars

Die **Identifikation der relevanten Schadstoffe** an einem Standort erfolgt in der Regel bereits im Rahmen der **orientierenden Untersuchung**. Grundlage bieten beispielsweise Kenntnisse zur (Vor-)Nutzung des Standortes, Hinweise aus historischen Recherchen, Voruntersuchungen oder Monitoring-Programmen. Genutzt werden können hierzu auch Hintergrundinformationen zur branchentypischen Inventarisierung von Schadstoffen (z.B. LFU BY (2001), LfUG 2012; LfULG 2014; vgl. *Anhang 6*).

In der **Detailuntersuchung** erfolgt die **abschließende Charakterisierung** und vertiefende Betrachtung des Schadstoffinventars. Hierbei muss wirkungspfadbezogen berücksichtigt werden, in welcher Tiefe der Schadstoff vorkommt. Dies ist entsprechend bei der Probennahme und Untersuchung zu berücksichtigen (vgl. *Kapitel 10.1*), auch mit Blick auf ggf. künftige Eingriffe in den Boden, bei denen z.B. stärker belastetes Bodenmaterial an die Oberfläche gelangen kann.

Ob von einem Schadstoff eine Gefahr am Standort ausgeht, **hängt einerseits von der Höhe der Stoffgehalte ab** und andererseits davon, ob der jeweilige Stoff über die Wirkungs- und Aufnahmepfade **überhaupt in relevantem Ausmaß in den menschlichen Organismus gelangen kann** (vgl. *Kapitel 4.2*).

Zur Bewertung möglicher Schadstoffaufnahmen sind **Beurteilungsmaßstäbe für die humantoxische Wirkung** der Substanzen erforderlich. Dabei sind sowohl

**Schadstoff-  
inventar**

**Tiefenbezug**

**Relevante  
Aufnahme**

Daten zur oralen, inhalativen, wie auch zur dermalen Aufnahme zu berücksichtigen und miteinander zu vergleichen, um zur Expositionsabschätzung den sensibelsten Wirkungs- und Aufnahmepfad eines Schadstoffes identifizieren zu können.

Im Detail bestimmen die humantoxikologischen Eigenschaften der Schadstoffe (**akute Toxizität, chronische Toxizität, Kanzerogenität**) den zeitlich zu betrachtenden Horizont für die Expositionsbeurteilung. Während bei toxisch wirksamen Stoffen in der Regel Expositionsbeurteilungen für relevante Lebensabschnitte aggregiert werden, wird bei kanzerogenen Stoffen eine Risikoabschätzung auf Lebenszeit (70 Jahre) bezogen. Für akut toxische Stoffe wie beispielsweise Cyanide oder Arsen wird eine einmalige orale Aufnahme zugrunde gelegt, die im Kindesalter jederzeit möglich ist; bei inhalativ wirksamen Stoffen wird eine akute Exposition für die Dauer einer Stunde angenommen.

Für die Bewertung **chronisch toxisch wirkender Stoffe** bilden sogenannte Wirkungsschwellen oder tolerierbare resorbierte Dosen (TRD) pro kg Körpergewicht (kg KG) das Grundgerüst.

Durch die Berücksichtigung eines Gefahrenfaktors (i.d.R. 2 bis 10), der nach einem standardisierten Konzept (vgl. KONIETZKA & DIETER 1998) bestimmt ist, werden gefahrenbezogene Körperdosen (KD) abgeleitet, die die bodenschutzrechtliche Anforderung an die **hinreichende Wahrscheinlichkeit für eine Gefahr** erfüllen.

Darüber hinaus findet bei der Prüfwertableitung für chronisch toxisch wirkende Stoffe auch die **Hintergrundexposition** Berücksichtigung. Hierzu sind ggf. standortspezifische Kenntnisse, Daten und Untersuchungen für den zu betrachtenden Stoff zu beachten. Konventionsgemäß werden 80 % der tolerierbaren resorbierten Dosis (TRD) bereits als Hintergrundexposition angenommen (vgl. Kapitel 9.2.3 sowie Anhang 3).

**Art der  
Wirkung...**

**... und  
Zeitbezug**

**Wirkschwelle:  
TRD-Werte**

Für **kanzerogen wirksame Stoffe** werden Abschätzungen des Risikos einer Krebserkrankung - verursacht durch schädliche Bodenveränderungen - durchgeführt. Als Konvention wird ein akzeptables, durch die schädliche Bodenveränderung bedingtes, zusätzliches Krebsrisiko mit  $10^{-5}$  definiert, und daraus abgeleitet ein gefahrenbezogenes Risiko mit  $5 \cdot 10^{-5}$  (Gefahrenfaktor ( $F_{\text{gef}}$ ) = 5) festgelegt (vgl. Anhang 3).

**akzeptables  
zusätzliches  
Krebsrisiko:  
1 : 100.000**

Für Stoffe, die bereits bei vergleichsweise geringen Gehalten akut toxische Wirkungen zeigen, wie beispielsweise Cyanide, werden **lebensbedrohliche Wirkungen** zur Betrachtung der Wirkschwelle für einmalige oder kurzzeitige Expositionen herangezogen und mit Hilfe eines **Sicherheitsfaktors von 10** eine gefahrenbezogene Körperdosis abgeleitet.

**gefahrenbezo-  
genes Risiko:  
5 : 100.000**

**akut toxische  
Wirkungen**

Detaillierte Ausführungen zum methodischen Vorgehen hinsichtlich der Beurteilung von Schadstoffen finden sich im Methodenteil in *Anhang 3*.

#### **4.1.1. Schadstoffe mit Bewertung nach BBodSchV**

**Ausführliche Stoffbeschreibungen** sowie die Ableitung von TRD-Werten und Krebsrisikoabschätzungen sind in der Loseblattsammlung von EIKMANN et al. (1999ff) dokumentiert. Die **Methodengrundlagen** sowie eine Dokumentation der stoffspezifischen Prüfwertableitungen finden sich in der Loseblattsammlung, herausgegeben vom Umweltbundesamt (UBA 1999ff). Die Vorgehensweise zur Ableitung der Maßnahmenwerte für Dioxine/Furane wurde von SCHULZ (1992) veröffentlicht.

**Bewertungs-  
grundlagen**

Zur Ableitung der Prüfwerte werden Szenarien, bei denen Wirkungen auf Kinder als sensibelstes Schutzgut ("Kinderspielflächen", "Wohngebiete", "Park- und Freizeitanlagen") im Vordergrund stehen, vom Szenario "Industrie- und Gewerbegrundstücke" unterschieden, für das Erwachsene während ihrer Arbeitszeit betrachtet werden. Je nach Szenario können verschiedene Aufnahmepfade beurteilungsrelevant werden (vgl. hierzu *Tabelle 2*).

**Beurteilungs-  
relevante Auf-  
nahmepfade**

Auf Sport- und Bolzplätzen stellt die inhalative Aufnahme bodenbürtiger Schadstoffe von Kindern und Jugendlichen den beurteilungsrelevanten Aufnahmepfad dar, wobei für Blei, Nickel und Quecksilber die toxischen Wirkungen dominieren,

während für Arsen, Cadmium, Chrom und Benzo(a)pyren kanzerogene Wirkungen ausschlaggebend sind (vgl. DELSCHEN et al. 2006).

In der MantelV/BBodSchV werden Prüfwerte für weitere Stoffe für den Direktpfad (Antimon, Chrom<sub>VI</sub>, Kobalt, Thallium, 2,4-Dinitrotoluol, 2,6-Dinitrotoluol, Hexyl, Hexogen, Nitropenta und TNT) und den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch (DDT) aufgeführt. Sie stellen die aktuell weitestgehend konsentrierte fachliche Bewertungsmöglichkeit auf Basis der Methoden und Maßstäbe in der Verordnung dar (§ 4 Abs. 5 BBodSchV / § 15 Abs.4 MantelV/BBodSchV) und entsprechen weitgehend den Prüfwertvorschläge nach LABO 2008 (vgl. Kapitel 4.1.2).

Für einige Stoffe (Chrom, Quecksilber, DDT, Pentachlorphenol und insbesondere BaP/PAK) sind Änderungen der Beurteilungswerte für ein oder mehrere Nutzungsszenarien zu erwarten (vgl. auch Tabelle 3).

Gemäß MantelV/BBodSchV kann die Stoffgruppe der PAK durch Benzo(a)pyren als Bezugssubstanz dieser Gruppe untersucht und bewertet werden. Benzo(a)pyren repräsentiert dabei die Wirkung typischer PAK-Gemische auf ehemaligen Kokereien, Gaswerksgeländen und Teermischwerken/ -öllager. Weicht das PAK-Muster oder der Anteil von Benzo(a)pyren an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall bei besonderer Nutzungshistorie deutlich von diesen typischen PAK-Gemischen ab, so muss dies bei der Anwendung der Prüfwerte berücksichtigt werden. Bei der Ableitung der Prüfwerte wurden siedlungsbedingte bundesweit typische Hintergrundgehalte von Benzo(a)pyren berücksichtigt. Liegen die regional typischen siedlungsbedingten Hintergrundwerte oberhalb der Prüfwerte für Benzo(a)pyren, ist dies ebenfalls bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse gemäß § 4 Abs. 8 BBodSchV (§ 15 Abs. 6 MantelV/BBodSchV) zu berücksichtigen. Die bisher nach BBodSchV nur mögliche Bewertung von Benzo(a)pyren als Einzel- bzw. Leitsubstanz wird durch die Bewertung der Stoffgruppe der PAK ergänzt, bzw. abgelöst.

Verschiedene Bundesländer haben zur Bewertung von PAK bereits Regelungen getroffen, in denen die Vorgehensweise zur Prüfung der typischen PAK-Profile und deren Bewertung beschrieben werden. Details zu Bewertungskonzepten von PAK und BaP finden sich in *Anhang 2*.

**Neue Stoffe in  
der MantelV/  
BBodSchV**

**Aktuelle Be-  
wertung von  
BaP / PAK**

**PAK-Erlasse  
der Länder**

Für weitere ausgewählte Stoffe finden sich in *Anhang 2* dieser Arbeitshilfe **Stoffdatenblätter zur Expositionsabschätzung** mit Angaben der jeweiligen humantoxikologischen Charakteristika und Wirkweisen, zu relevanten Aufnahmepfaden sowie empfindlichsten Endpunkten und der Art der Wirkung (toxisch/kanzerogen), die schließlich zur Prüfwertableitung für die BBodSchV (1999) geführt haben. Darüber hinaus werden weitere Bewertungskriterien erörtert, die im Rahmen einer Plausibilitätsprüfung in die Prüfwertableitung eingeflossen sind und die in einer Gefahrenbeurteilung ebenfalls Berücksichtigung finden müssen.

**Anhang 2:  
Stoffdatenblätter zur  
Expositionsabschätzung**

Der Kenntnisstand zur humantoxikologischen Stoffbewertung schreitet kontinuierlich fort, so dass die Bewertungsgrundlagen der Prüfwertableitung zum Teil nicht mehr dem aktuellen Wissensstand entsprechen. So wurden beispielsweise in Stellungnahmen der Kommission "Human-Biomonitoring" des Umweltbundesamtes humantoxikologische Neubewertungen für Blei (UBA 2009) und Cadmium (UBA 2011a) publiziert.

**Aktualität  
von Stoff-  
bewertungen**

#### **4.1.2. Weitere Schadstoffe mit konsentierten Prüfwertvorschlägen**

Für zahlreiche Stoffe liegen in Ergänzung zu den Prüfwerten der BBodSchV Vorschläge für Prüfwerte vor, die den Vorgaben zur Ableitung der Prüfwerte<sup>8</sup> entsprechen. Eine Dokumentation der zugrundeliegenden Stoffbetrachtungen und Bewertungen findet sich in der Loseblattsammlung des Umweltbundesamtes (vgl. UBA 1999ff).

**Der ständige Ausschuss Altlasten der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO 2008)** hat außerdem für eine Reihe nicht flüchtiger Schadstoffe "**Prüfwertvorschläge**", die nach den genannten Kriterien berechnet wurden und deren humantoxikologische Bewertungsmaßstäbe bereits als konsentiert gelten, veröffentlicht. Diese wurden z.T. in den Entwurf der MantelIV/BBodSchV übernommen, z.B. für Antimon, Chrom<sub>VI</sub>, Kobalt und Thallium.

**ALA/LABO  
2008:  
Bewertungs-  
grundlagen für  
Schadstoffe in  
Altlasten**

Darüber hinaus wurden weitere Listen mit Beurteilungswerten unterschiedlicher Datenqualität veröffentlicht, so die "**orientierenden Hinweise für flüchtige Stoffe bei Untersuchungen des Bodenfeststoffes**". Die geringere Belastbar-

---

<sup>8</sup> vgl. Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161 a; s. BBodSchVa 1999 (BBodSchVa)

keit der abgeleiteten orientierenden Hinweise beruht nach der LABO auf der Betrachtung eines zusätzlich aufgestellten Expositionsszenarios für flüchtige Stoffe, dessen Verallgemeinerungsfähigkeit aufgrund der hohen Bedeutung standortspezifischer Faktoren als gering eingeschätzt werden muss.

Weiterhin wurden "**behelfsmäßige Bodenorientierungswerte für die Einzelfallprüfung bei Rüstungsaltslasten (Kampfstoffe, Sprengstoffe und deren Abbauprodukte)**" abgeleitet, deren Belastbarkeit aufgrund eingeschränkter Datenlage als vergleichsweise noch geringer eingeschätzt wird.

Als zusätzliche Kategorie hat die LABO auch zu o.g. *orientierenden Hinweisen* korrespondierende "**orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe in der Bodenluft**" veröffentlicht, die sich aus der Betrachtung des Transferverhaltens von flüchtigen Stoffen aus der Bodenluft in die Innenraumluft ergeben. Bei der Bewertung eines möglichen Übergangs von Schadstoffen aus der Bodenluft in die Innenraumluft ist zu beachten, dass die gemessenen Werte und die verwendeten Faktoren nur Größenordnungen darstellen können.

#### **4.1.3. Schadstoffe ohne Prüfwertvorschläge**

Liegen für einen relevanten oder gemessenen Stoff keine Prüfwerte bzw. Prüfwertvorschläge nach BBodSchV vor, ist zunächst zu prüfen, inwieweit der Stoff gesundheitliche Relevanz besitzt. Beispielsweise ist für die Metalle Kupfer und Zink, die als essentiell für den Menschen gelten, klein relevanter Wertebereich festzulegen.

Gegebenenfalls sind eigene Bewertungsmaßstäbe zu entwickeln, die den Vorgaben zur Ableitung von Prüfwerten (s.o.)<sup>10</sup> bzw. den Ergänzungen nach UBA (1999ff) möglichst weitgehend entsprechen sollten.

Aktuell liegen für insgesamt 141 weitere Stoffe in Deutschland unterschiedlich detailliert abgestimmte humantoxikologische Bewertungsmaßstäbe vor, die in EIKMANN et al. (1999ff) dokumentiert oder aber beim Umweltbundesamt nachzufragen sind.

Generell ist in Hinblick auf die Stoffbewertung, insbesondere aber auch dann, wenn keine Prüfwerte für Stoffe vorliegen, auf die erforderliche, besondere Fachkompetenz hinzuweisen, die der Sachverständige nach **§ 18 BBodSchG** für den

**Verwendung  
abgestimmter  
TRD-Werte für  
141 Stoffe...**

**...erfordert  
Fachkompe-  
tenz und  
Qualifikation**

Wirkungspfad Boden-Mensch bzw. Boden-Nutzpflanze nachzuweisen hat. Es muss die notwendige Qualifikation im Bereich der Umwelthygiene / Toxikologie vorliegen und im Einzelfall, beispielsweise bei Vorliegen von Stoffgemischen (vgl. Kapitel 4.1.5) oder Mischexpositionen (vgl. Kapitel 9.2.2), kann es auch erforderlich werden, auf den toxikologischen und umweltmedizinisch/-hygienischen Sachverstand der Länder zurückzugreifen.

#### 4.1.4. Stoffgruppen

Für Stoffgruppen, die sich aus Einzelsubstanzen zusammensetzen und die erwie-senermaßen denselben Wirkendpunkt anzielen (Kombinationswirkung), ggf. auch mit unterschiedlichem Wirkpotenzial, gibt es nach den Vorgaben zur Ableitung der Prüfwerte verschiedene Beurteilungskonzepte.

**Kombinations-  
wirkungen**

Zum einen können Stoffgruppen mit Hilfe einer Leit- oder Bezugssubstanz (bei-spielsweise **BaP** für die Gruppe der PAK) beurteilt werden. Voraussetzung ist, dass die Wirkung der Bezugssubstanz ausreichend dokumentiert ist und anzu-nehmen ist, dass die Bezugssubstanz die Wirkung der Stoffgruppe repräsentiert.

**Bezugs-  
substanz**

Ein anderes Konzept, das zur Bewertung bspw. der **Nitroaromaten** herangezo-gen wird, ist die gewichtete Addition nach dem Prinzip der TRGS<sup>9</sup> 403. Hier wird die Summe der Quotienten der Einzelstoffe aus den gemessenen Stoffgehalten zu den Einzelstoffen gebildet, wobei als Grenzwert für Stoffgemische ein Bewer-tungsindex von 1 gilt (UBA 1999ff).

**Additionsregel**

Zur Beurteilung der Stoffgruppe der **polychlorierten Dioxine, Furane und dio-xinähnlichen PCB** werden sogenannte Toxizitätsäquivalente (TEQ) berechnet, die in Relation zur Toxizität des hochgiftigen 2,3,7,8-TCDD gesetzt werden. Die TEQ geben an, welcher Menge an 2,3,7,8-TCDD das in Frage stehende Gemisch aus PCDD/F in seiner toxischen Wirkung entspricht. Der Toxizitätsäquivalenzfak-tor (TEF) für 2,3,7,8-TCDD ist mit 1 festgelegt. Durch Multiplikation der gemesse-nen Konzentration des jeweiligen Kongeners mit dem entsprechenden TEF und

**Toxizitäts-  
äquivalente**

---

<sup>9</sup> Die **T**echnischen **R**egeln für **G**efahrstoffe (**TRGS**) geben den Stand der sicherheitstechnischen, arbeits-medizinischen, hygienischen sowie arbeitswissenschaftlichen Anforderungen an Gefahrstoffe hinsichtlich Inverkehrbringen und Umgang wieder. Sie werden vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) aufgestellt und weiterentwickelt. Die TRGS werden vom Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung im Bundesar-beitsblatt (BArbBl) bekannt gegeben.

anschließender Addition der so gewichteten Konzentrationswerte ergibt sich diejenige Konzentration, von der die gleiche toxische Wirkung ausgehen würde wie von 2,3,7,8-TCDD (vgl. Anhang 2).

Als **Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)** wird ein Stoffgemisch bezeichnet, das mehrere hundert einzelne Verbindungen enthalten kann. Für die Bewertung problematisch ist, dass diese Mischung Kohlenwasserstoffe mit aromatischen und aliphatischen Komponenten enthält, die teils sehr unterschiedliche Eigenschaften und Toxizitäten aufweisen.

**Bewertung  
von MKW**

Von der LABO (vgl. LABO 2017) wird zur Bewertung der MKW daher eine Unterteilung in aliphatische und aromatische (einkernige Aromaten, Naphthalin und alkylsubstituierte Naphthaline) Kohlenwasserstoffe vorgenommen. Die aliphatischen und aromatischen Teilmengen werden weiter in Fraktionen unterteilt, von denen angenommen werden kann, dass die Einzelverbindungen dieser Fraktionen eine ähnliche toxische Wirkung aufweisen. Für jede Fraktion wird die Gesamtwirkung auf die Wirkung einer typischen und ausreichend untersuchten Einzelsubstanz oder Stoffgruppe bezogen, so dass für sieben inhalativ wirksame MKW-Fraktionen nutzungsabhängige Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Innenraumluft-Mensch abgeleitet wurden (LABO 2017; vgl. Anhang 2). Für die anderen hier betrachteten Wirkungspfade sind keine Bewertungsmaßstäbe ableitbar.

**aromatische  
und aliphatische  
MKW**

#### **4.1.5. Stoffgemische**

Für Stoffgemische, die Stoffe mit unterschiedlichen Wirkendpunkten enthalten und für die additive oder synergistische oder antagonistische Wirkungen anzunehmen sind, kann bislang auf keine methodischen Grundsätze zur Bewertung zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 9.2.2). Hier kann im Einzelfall lediglich mit entsprechendem Sachverstand argumentiert und bei Erfordernis ggf. pragmatisch vorgegangen werden (vgl. MKW).

## 4.2. Nutzungsszenarien und ihre Wirkungs- und Aufnahmeptide

Zur Beschreibung möglicher Nutzungen eines Standortes im Rahmen dieser Arbeitshilfe sieht die BBodSchV fünf Nutzungsszenarien vor ("Kinderspielfläche", "Wohngebiet", "Park- und Freizeitanlage", "Nutzgarten", "Industrie- und Gewerbegrundstücke").

In dieser Arbeitshilfe werden auch die Szenarien "Haus- und Kleingarten" (vgl. Kapitel 4.2.2.2) sowie "Sport- und Bolzplätze" (vgl. Kapitel 4.2.6) betrachtet.

Jedes dieser Nutzungsszenarien wird durch einen oder mehrere Wirkungspfade charakterisiert, die einzeln oder in Kombination die Aufnahme der Schadstoffe durch den Menschen abbilden. Diese Arbeitshilfe behandelt die **Wirkungspfade Boden-Mensch (Direktpfad), Boden-Bodenluft-Mensch, Boden-Nutzpflanze-Mensch** und **Boden-(Futterpflanze-)Nutztier-Mensch**.

Die Relevanz der Wirkungspfade für die verschiedenen Nutzungsszenarien zeigt *Tabelle 1*.

**Nutzung und Nutzungsszenarien**

**Welche Wirkungspfade sind relevant?**

**Tabelle 1: Nutzungsszenarien mit relevanten Wirkungspfaden**

		Wirkungspfad			
		Boden-Mensch (Direktpfad)	Boden-Bodenluft-Mensch <sup>1</sup>	Boden-Nutzpflanze-Mensch	Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch <sup>2</sup>
Nutzungsszenarien	Kinderspielfläche <sup>3</sup>	X	(X)		
	Wohngebiet <sup>3</sup>	X	X		
	Haus- und Kleingarten	X	X	X	X
	Nutzgarten <sup>3</sup>		(X)	X	X
	Park- und Freizeitanlage <sup>3</sup>	X	(X)		
	Industrie- und Gewerbegrundstücke <sup>3</sup>	X	X		
	Sport- und Bolzplätze	X	(X)		
	Weitere Szenarien	Prüfung der relevanten Wirkungspfade			

<sup>1</sup> Relevanz dieses Wirkungspfades abhängig von Stoffeigenschaften (Flüchtigkeit)

<sup>2</sup> Relevanz dieses Wirkungspfades nur in besonderen Fällen (Kleintier- / private Nutztierhaltung)

<sup>3</sup> Szenarien der BBodSchV

( ) nur bei auf der Fläche befindlicher oder angrenzender Bebauung, sowie bei ggf. künftiger Bebauung

**Welche Aufnahme-pfade sind relevant?**

Neben der Nutzung des Standortes hängt die Relevanz der Wirkungspfade maßgeblich davon ab, auf welchem Weg Schadstoffe aufgrund ihrer Eigenschaften (beispielsweise Flüchtigkeit) in den menschlichen Organismus gelangen können. Einen Überblick, welche Aufnahme-pfade in der Regel für die einzelnen Wirkungspfade von Bedeutung sind, gibt *Tabelle 2*. Für ausgewählte Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen enthält *Anhang 2* Stoffdatenblätter zur Expositionsabschätzung, die die für verschiedene Wirkungs- und Aufnahme-pfade sowie Nutzungsszenarien relevanten Stoffeigenschaften aufzeigen.

**Tabelle 2: Wirkungspfade mit Zuordnung der beurteilungsbestimmenden Aufnahme-pfade**

		Aufnahme-pfade				Transfer-medium	Aufnahme-medium	Schutz-gut
		oral	inhalativ Staub	inhalativ Gas	dermal			
Wirkungspfad	Boden-Mensch (Direkt-pfad)	x	x		x		Boden	Mensch
	Boden-Boden-luft- Mensch			x		Boden-luft	Atemluft	
	Boden-Nutz-pflanze-Mensch	x				Boden	Obst und Gemüse	
	Boden-Futter-pflanze-Nutztier-Mensch	x				Futter-pflanze	tierische Produkte	

#### 4.2.1. Kinderspielflächen

Als "**Kinderspielflächen**" gelten alle "Aufenthaltsbereiche für Kinder, die ortsüblich (/regelmäßig) zum Spielen genutzt werden, ohne den Spielsand von Sandkästen" (BBodSchV,



Anhang 2 Nr. 1.1 a / § 2 Nr. 18 MantelV/BBodSchV). Dies können ausgewiesene Spielplätze sein, aber auch entsprechende Standorte innerhalb von anderen Nutzungen, in denen insbesondere Kleinkinder vergleichbar intensiv und regelmäßig spielen. Hinweise auf die aktuelle Nutzung können sich z.B. aus der Ausstattung der Fläche mit Spielgeräten



und –einrichtungen ergeben. Kinderspielflächen stellen die sensibelste Flächennutzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch dar.

**Kinderspielplätze** können im Einzelfall unterschiedlich intensiv genutzte Teilbereiche (Wegbereiche, dicht bewachsene Randbereiche, etc.) aufweisen, die bei der Betrachtung der aktuellen Nutzung getrennt betrachtet und ggf. unterschiedlichen Nutzungsszenarien zugeordnet werden können (vgl. Anhang 4 – Fallbeispiel A).

#### 4.2.2. Wohngebiete

Als "**Wohngebiet**" gelten "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 sind Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen und befestigte Verkehrsflächen. (BBodSchV; Anhang 2 Nr. 1.1 b / § 2 Nr. 19 MantelV /BBodSchV).



Diese Arbeitshilfe unterscheidet zwischen **Wohngebieten mit weniger sensibler Nutzung** und **Haus- und Kleingärten** mit sensiblerer Nutzung.

##### 4.2.2.1 Wohngebiete mit weniger sensibler Nutzung

Wohngebiete (mit weniger sensibler Nutzung) im hier dargestellten engeren Sinn liegen beispielsweise als Abstandsgrün oder unbefestigte Verkehrsflächen im Umfeld von Wohnbebauung und dienen dem Aufenthalt von Menschen. Die Nutzung zum Zwecke des intensiven Kinderspiels und des Anbaus von Nahrungspflanzen - im Gegensatz zu Hausgärten, die eigenständig betrachtet werden - ist hier von geringerer Bedeutung. Zur Quantifizierung möglicher Expositionen wird für dieses Nutzungsszenario daher lediglich der Wirkungspfad Boden-Mensch bzw. bei Vorkommen flüchtiger Stoffe auch der Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch betrachtet.



#### 4.2.2.2 Haus- und Kleingarten

Unter dem Nutzungsszenario "**Haus- und Kleingarten**" werden Flächen verstanden, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder wie "Kinderspielflächen" (mit regelmäßig und intensivem Kinderspiel) als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen, wie "Nutzgärten" genutzt werden können (Anhang 2, Tabelle in Nr. 1.4, Fußnote 1 BBodSchV / Anlage 2, Tabelle 4, Fußnote 1 MantelV/BBodSchV).



##### Der Begriff des "Hausgartens"

Die Verwendung des Begriffes ‚Hausgarten‘ in der BBodSchV ist mehrdeutig. Für die Bewertung des Wirkungspfades Boden-Mensch (direkter Kontakt) wird im Anhang 2, Punkt 1.1 in der Erläuterung des Begriffes ‚Wohngebiet‘ u.a. auch auf Hausgärten verwiesen, soweit – wie einschränkend ausgeführt – diese nicht als Kinderspielflächen anzusprechen sind. Auch bezüglich des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze wird in Anhang 2, Punkt 2.1 auf Hausgärten verwiesen.

Die mit der Fußnote der Prüfwertetabelle zu 1.4 verbundene Sonderregelung zur integrativen Beurteilung von Cadmium in Haus- und Kleingarten ist mit der Möglichkeit begründet, dass manche Gärten sowohl für den Nahrungspflanzenanbau genutzt werden als auch als Kinderspielfläche dienen. In diesen Fällen sieht die BBodSchV eine additive Bewertung beider Wirkungspfade vor. Für die Expositionsabschätzung wird dann zur Berücksichtigung des Teilpfades "orale Bodenaufnahme spielender Kinder" i.d.R. eine Bodenaufnahmerate anzusetzen sein, die der Nutzung als "Kinderspielfläche" entspricht.

Die Schadstoffbewertung in Hausgärten ist somit **nicht** zwingend mit der Anwendung von Wohngebietsprüfwerten verbunden, je nach Gebietscharakteristik (Einfamilienhaus-, Doppelhaus- oder Reihenhäusgärten, Abstandsgrün oder Vorgärten) kann es vielmehr notwendig sein, in Hausgärten das Kinderspielszenario und ggf. zusätzlich (und in Kombination) das Nutzgartenszenario anzunehmen.

Von der Einführung einer neuen Begrifflichkeit (z.B. Wohngarten o.ä.), die ausschließlich das Kombinationsszenario "Kinderspielfläche" und "Nutzgarten" beschrieben hätte, wurde in dieser Arbeitshilfe abgesehen.

Flächen in Wohngebieten und Kleingärten, die aktuell ausschließlich dem Nutzpflanzenanbau dienen und bei denen der Aufenthalt von Kindern ausgeschlossen werden kann, werden vom Begriff des Hausgartens abgegrenzt und als Nutzgarten beschrieben (s.u.).

**Hausgärten** zeichnen sich in der Regel dadurch aus, dass sie erkennbar einer individuellen Nutzung durch eine Familie oder Bewohner/innen einer Wohneinheit unterliegen und häufig durch einen Zaun, eine Bepflanzung o.ä. abgegrenzt sind. Die aktuelle intensive Nutzung durch Kinder ist durch das Vorhandensein von Spielflächen oder Spielgeräten erkennbar oder aus Auskünften der Bewohner/innen bekannt. Nutzpflanzenanbau findet im Hausgarten in der Regel in Nutzbeeten statt und wird von den Bewohnern und Bewohnerinnen der zugehörigen Wohneinheit betrieben.

So liegen Hausgärten im direkten Umfeld von Wohnhäusern, während Kleingärten meist in weiterer Entfernung davon liegen.

**Kleingärten** im Sinne des Bundeskleingartengesetzes BKleingG (1983) werden nach § 1 Abs. 1 wie folgt definiert:

1. Gärten, die dem Nutzenden (von Kleingärten) zur nicht erwerbsmäßigen gärtnerischen Nutzung, insbesondere zur Gewinnung von Gartenbauerzeugnissen für den Eigenbedarf, und zur Erholung dienen (kleingärtnerische Nutzung).
2. Gärten, die in einer Anlage liegen, in der mehrere Einzelgärten mit gemeinschaftlichen Einrichtungen, zum Beispiel Wegen, Spielflächen und Vereinshäusern zusammengefasst sind (Kleingartenanlage).



Kleingärten sind ebenfalls erkennbar abgegrenzte Flächen, die von Kleingarten-Pächtern (Familien, Paare, Alleinstehende) betrieben und genutzt werden. Der Anbau von Nutzpflanzen ist ursprünglicher Zweck der Ausweisung von Kleingartenanlagen gewesen und immer noch mehr oder minder großer Bestandteil der Kleingartennutzung.

Für die beiden Nutzungsszenarien Haus- und Kleingarten sind sowohl der Wirkungspfad Boden-Mensch (ggf. als Kinderspielfläche) als auch der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch zu beachten und ggf. auch integrativ zu bewerten (vgl. Kapitel 9.1).

#### 4.2.3. Nutzgarten

Als "Nutzgarten" definiert diese Arbeitshilfe Flächen, die ausschließlich dem Anbau pflanzlicher Nahrungsmittel zum Eigenverzehr und - im Gegensatz zu Haus- oder



Kleingarten - nicht als Aufenthaltsbereich für Kinder dienen. Nur wenn der Aufenthalt von Kindern verneint werden kann, hat der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch alleinige Relevanz (s.a. Begriffserläuterung zu "Hausgärten").

#### 4.2.4. Park- und Freizeitanlagen

Unter das Nutzungsszenario "Park- und Freizeitanlage" fallen "Anlagen für soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke, insbesondere öffentliche und private Grünanlagen sowie unbefestigte Flächen, die regelmäßig zugänglich sind und vergleichbar genutzt werden" (BBodSchV; Anhang 2 Nr. 1.1 c / § 2 Nr. 20 MantelIV/BBodSchV).



Bei der Gefahrenbeurteilung des Nutzungsszenarios "Park- und Freizeitanlage" steht die Gefährdung spielender Kleinkinder über den Wirkungspfad Boden-Mensch im Vordergrund, wobei angenommen wird, dass die **Intensität der Nutzung** durch Kleinkinder bei den Szenarien "Kinderspielfläche", "Wohngebiet" sowie "Park- und Freizeitanlage" in genannter Reihenfolge deutlich abnimmt.

Neuen Tendenzen, auf Grünflächen bzw. in Park- und Freizeitanlagen öffentlich zugängliche Bereiche für "**Urban Gardening**" zu nutzen, kann insofern begegnet werden, als dass dieses Szenario ggf. gesondert betrachtet wird.

Zur Expositionsabschätzung solch speziell genutzter Teilflächen wären dann Überlegungen zur Nutzerstruktur (z.B. Alter der Nutzenden, Vorlieben) sowie zu Anbauflächen und -mengen und daraus resultierenden regelmäßig zugeführten Verzehrsmengen erforderlich, um – falls erforderlich - ggf. ein neues Nutzungsszenario (vgl. *Kapitel 9.2.1*) dafür zu entwickeln, das sich vom Szenario "Nutzgarten" oder "Kleingarten" abgrenzt.

#### 4.2.5. Industrie- und Gewerbegrundstücke

Gemäß BBodSchV handelt es sich beim Szenario "Industrie- und Gewerbegrundstücke" um unbefestigte Flächen von Arbeits- und Produktionsstätten, die nur während der Arbeitszeit genutzt werden (BBodSchV; Anhang 2 Nr. 1.1 d / § 2 Nr. 21 MantelIV/BBodSchV). Bei diesem Nutzungsszenario wird die Gefährdung der dort tätigen Beschäftigten



über den Wirkungspfad Boden-Mensch beurteilt, wobei der inhalative Aufnahmepfad Erwachsener im Vordergrund steht.

#### 4.2.6. Sport- und Bolzplätze

Das Nutzungsszenario "Sport- und Bolzplätze" wurde zusätzlich zu den Nutzungen gemäß BBodSchV in die Betrachtungen aufgenommen, da hierfür Ausarbeitungen vorliegen, die den Vorgaben der BBodSchV entsprechen und in DELSCHEN et al. 2006 veröffentlicht sind (vgl. Kapitel 5.2.6).



Bei diesem Szenario steht in der Regel die Gefährdung Sport treibender Kinder und Jugendlicher durch inhalative Aufnahme bodenbürtiger Stäube im Vordergrund, die während der sportlichen Aktivitäten freigesetzt werden. Im Falle akut wirkender Stoffe (z.B. Arsen) kann allerdings auch der orale Aufnahmepfad die Beurteilung bestimmen (vgl. Anhang 4; Fallbeispiel A).

Bei diesem Szenario steht in der Regel die Gefährdung Sport treibender Kinder und Jugendlicher durch inhalative Aufnahme bodenbürtiger Stäube im Vordergrund, die während der sportlichen Aktivitäten freigesetzt werden. Im Falle akut wirkender Stoffe (z.B. Arsen) kann allerdings auch der orale Aufnahmepfad die Beurteilung bestimmen (vgl. Anhang 4; Fallbeispiel A).

#### 4.3. Auswahl des zutreffenden Nutzungsszenarios

Bei wohnbaulich genutzten Flächen können Unterschiede in der Art und Intensität der Nutzung, insbesondere in Hinblick auf zukünftige Änderungen auftreten.

**Einstufung  
wohnbaulich  
genutzter  
Flächen**

##### Fallbeispiel Hausgarten / Wohngebiet

Es ist beispielsweise denkbar, dass zum Zeitpunkt der Bestandsaufnahme im Garten einer Doppelhaushälfte Kleinkinder spielen und die junge Familie zum Eigenverzehr Pflanzen anbaut (aktuelle Nutzung: Hausgarten), während das Rentnerehepaar der anderen Doppelhaushälfte den Garten als Ziergarten mit Rasen und Blumenbeeten nutzt (aktuelle Nutzung: Wohngebiet).

Fünfzehn Jahre später kann es sich ganz anders darstellen: auf der einen Seite sind die kleinen Kinder groß geworden und der Anbau von Pflanzen wurde eingestellt (aktuelle Nutzung: Wohngebiet), auf der anderen Seite haben die älteren Herrschaften ihr Haus den Enkelkindern übergeben, die Nachwuchs haben. Nutzgarten wird nicht betrieben (aktuelle Nutzung: Kinderspielfläche). Daher sind beide Gartenhälften in Hinblick auf die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung als Hausgärten mit den Nutzungen Kinderspielfläche und Nutzpflanzenanbau einzustufen, wenngleich dies aktuell nur für eine Hälfte zutrifft. Bei der Ergebnisbeurteilung sind beide Betrachtungen, d.h. die aktuelle wie auch die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung einzubeziehen (vgl. auch Anhang 4 – Fallbeispiel B).

Auf wohnbaulich genutzten Flächen ist im Einzelfall die Entscheidung zu treffen, ob intensives Kinderspiel (Nutzungsszenario "Kinderspielfläche") anzunehmen ist, oder Kinderspiel eher eine untergeordnete Bedeutung hat (Nutzungsszenario "Wohngebiet"). Freiflächen im Umfeld von Blockbebauung, Zeilenbebauung und Hochhäusern sind eher als **allgemein genutztes Abstandsgrün** mit untergeordneter Bedeutung für intensives Kinderspiel<sup>10</sup> bzw. als Anbaufläche von Nutzpflanzen<sup>11</sup> anzusprechen.



**Beispiel:  
"Wohngebiet"**

Im Einzelfall können in Wohngebieten mit einer Blockbebauung und überwiegend Abstandsgrün auch **sensible Nutzungen** anzutreffen sein, wie die abgebildete Fläche zeigt. Hier ist die Zuordnung zum Szenario "Kinderspielfläche" eher zutreffend, falls auch Nutzpflanzen angebaut werden, dann sollte die Einstufung "Hausgarten" erfolgen.



**Beispiel:  
"Hausgarten"**

Auch auf Industrie- und Gewerbegrundstücken können sensiblere Teilnutzungen auftreten (z.B. Hausmeisterwohnung, Firmen-Kita), die im Rahmen der Expositionsabschätzung zu beachten sind.

Für **individuell genutzte Gärten** von Einzel-, Doppel- und Reihenhäusern ist in der Regel eine Nutzung als Kinderspielfläche bzw. zum Anbau von Nutzpflanzen anzunehmen (aktuell oder zukünftig) und somit das Szenario "Haus- und Kleingarten" anzuwenden, um die Bewertung der sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung sicherzustellen (siehe Kasten: Fallbeispiel). Ausnahmen können hier z.B. Vorgärten sein, sofern diese eine entsprechend intensive Kinderspielnutzung nicht vermuten lassen.

**...Kinderspielfläche!!**

<sup>10</sup> Kinder bleiben eher in der Wohnung bzw. auf dem Balkon, spielen eher auf einem eigens angelegten Spielplatz

<sup>11</sup> im Gemeinschaftseigentum eher unüblich

Da in Wohngebieten kein genereller Anspruch auf Nutzpflanzenanbau besteht (BGH-Urteil vom 25.02.1993, III ZR 47/92), ist im Einzelfall die planungsrechtlich zulässige Nutzung hinsichtlich des Nutzpflanzenanbaus zu prüfen.

**Zulässigkeit  
von Nutzpflanzenanbau?**

Fehlen planungsrechtliche Festsetzungen, bestimmt nach § 4 (4) BBodSchG die **Prägung des Gebiets** unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung das Schutzbedürfnis. Ist bei großflächigen Belastungen von einer gleichartigen, ortstypischen Nutzung auszugehen, kann ebenfalls mit Hilfe erhobener und belastbarer Daten und Informationen (vgl. Kapitel 5.3) die Prägung des Gebietes beschrieben und beispielsweise als "standortspezifisches sensibelstes planungsrechtlich zulässiges Nutzungsszenario" definiert werden. Die Prägung eines Gebietes kann beispielsweise durch Erhebung nutzungsabhängiger Annahmen innerhalb einer Stichprobe der betreffenden Flächen/Gärten festgestellt werden, im Sinne ortsüblicher (sensibelster) Nutzung. Hier muss allerdings sichergestellt werden, dass die Definition der Prägung des Gebietes die wahrscheinlichen sensibelsten Nutzungen auch mit abgebildet.

**Ortstypische  
Nutzung**

**Kurz gesagt:**

**Zur Standortcharakterisierung gehören zwei wesentliche Schritte:**

**Zum einen muss das Schadstoffinventar benannt und bezüglich seiner Wirkung charakterisiert werden, d.h. die relevanten Wirkungspfade und Aufnahmepfade müssen festgelegt und die Beurteilungsmaßstäbe konkretisiert sein.**

**Zum anderen muss die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung der Flächen am Standort festgelegt und die aktuelle Nutzung erhoben werden. Nutzungsszenarien, die von den in der BBodSchV genannten abweichen und die ortsübliche Prägung sind im Rahmen der bekannten Methoden und Maßstäbe zu berücksichtigen.**

**Für Schadstoffe, für die in der BBodSchV keine Maßstäbe genannt sind, können ggf. schon ausreichend bewertungsrelevante Grundlagen vorliegen; andernfalls ist mit entsprechendem Sachverstand und gemäß der Methodik zur Ableitung von Beurteilungswerten (BBodSchVa) vorzugehen.**

## 5. Durchführung von Expositionsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Mensch

*Wie sind die relevanten Aufnahmepfade zu ermitteln?*

*Welche Untersuchungsmethoden sind für welche Wirkungs- und Aufnahmepfade geeignet?*

*Wie sind die Untersuchungen durchzuführen?*

*Wie werden die Ergebnisse für die einzelnen Untersuchungsschritte ausgewertet?*

*Wie werden die Ergebnisse für den Wirkungspfad Boden-Mensch beurteilt?*

### 5.1. Ermittlung relevanter Aufnahmepfade

Der Wirkungspfad Boden-Mensch beschreibt die unmittelbare Schadstoffaufnahme des Menschen aus dem Boden in Abhängigkeit von der Nutzung der Fläche. Grundsätzlich können nichtflüchtige bzw. schwerflüchtige Schadstoffe durch

- das direkte Verschlucken von Boden (orale Aufnahme),
- das Einatmen von feinen Bodenpartikeln (inhalative Aufnahme von bodenbürtigen Stäuben) oder
- den Kontakt der Haut mit dem Boden (dermale Aufnahme)

aufgenommen werden. Welcher Aufnahmepfad für die menschliche Gesundheit beurteilungsbestimmend ist, hängt von den Stoffeigenschaften, deren Art der Wirkung und der Flächennutzung ab.

Auf frei für Kleinkinder zugänglichen Flächen ist vorab zu prüfen, ob aufgrund des Vorkommens akut wirksamer Stoffe oder besonders hoher Stoffgehalte **Sofortmaßnahmen** zum Schutz der menschlichen Gesundheit erforderlich sind (vgl. *Abbildung 1 und Kapitel 3.3.2.1*).

Eine Übersicht der Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Mensch und der beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfade und Wirkungen ist für die einzelnen Nutzungsszenarien in *Tabelle 3* dargestellt (Quelle: UBA 1999ff).

Dabei wird das Nutzungsszenario "Sport- und Bolzplätze", für das zusätzliche Empfehlungen für Prüfwerte vorliegen (vgl. DELSCHEN et. al. 2006), ergänzend aufgeführt (vgl. *Kapitel 4.2.6*).

**Akute  
Wirkung?**

**Tabelle 3: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch gemäß BBodSchV und MantelV/ BBodSchV (Gesamtgehalte) [mg/kg TM], mit beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfaden und Art der Wirkung**

	Kinderspielfläche		Wohngebiet		Park- u. Freizeit-anlage		Industrie- und Ge- werbe		Sport- und Bolz- plätze <sup>3)</sup>	
Antimon*	50	O,P	100	O,P	250	O, P	250	I,K,P	-	-
Arsen	25	O,K,P	50	O,K,P	125 / 100 <sup>1)</sup>	O,A,P	140	I,K	100 / 100 <sup>1)</sup>	I,K; O,A
Blei	200	O,P	400	O,P	1.000	O,P	2.000	I,P/sek	5.000	I
Cadmium	10	O,P	20	O,P	50	O,P	60	I,K	40	I,K
Chrom	200	I,K,Ox	400	I,K,Ox	1.000 / 400*	I,K,Ox	1.000 / 200*	I,K,Ox	100	I,K,Ox
Chrom <sub>VI</sub> *	130	I,K	250	I,K	250	I,K	130	I,K	40	I,K
Cyanide	50	O,A	50	O,A	50	O,A	100	O,A,P	-	-
Kobalt*	300	I,K	600	I,K	600	I,K	300	I,K	-	-
Nickel	70	O/I	140	O/I	350	O/I	900	I	250	I
Quecksilber	10	O,Bi	20	O,Bi	50	O,Bi	80 / 100*	I,Bi,P/sek	250	I,Bi
Thallium*	5	O,P	10	O,P	25	O,P	-	-	-	-
2,4-Dinitrotoluol*	3	O,D,K,P	6	O,D,K,P	15	O,D,K,P	50	I,K,P/sek	-	-
2,6-Dinitrotoluol*	0,2	O,D,K,P	0,4	O,D,K,P	1	O,D,K,P	5	I,K,P/sek	-	-
Aldrin	2	O,K,P	4	O,K,P	10	O,K,P	-	-	-	-
BaP / PAK	2/ 0,5*	O,K	4/ 1*	O,K	10/ 1*	O,K	12/ 5*	I,K	4	I,K
DDT	40	O,K	80	O,K	200	O,K	400*	I,K,P/sek	-	-
Hexachlorbenzol	4	O	8	O	20	O	200	P	-	-
Hexachlorcyclohexan	5	O	10	O	25	O	400	I,P	-	-
Hexyl*	150	O,D,K,P	300	O,D,K,P	750	O,D,K,P	1.500	I,K,P/sek	-	-
Hexogen*	100	O,K	200	O,K	500	O,K	1.000	I,K,P/sek	-	-
Nitropenta*	500	O,D,P	1.000	O,D,P	2.500	O,D,P	5.000	I,P/sek	-	-
Pentachlorphenol	50	O,K,P	100	O,K,P	250	O,K,P	250/ 500*	I,K,P/sek	-	-
PCB6	0,4	O	0,8	O	2	O	40	I,P	-	-
PCDD/F <sup>2)</sup>	100	O,M	1.000	O,M	1.000	O,M	10.000	O,M	-	-
TNT*	20	O,D,K,P	40	O,D,K,P	100	O,D,K,P	200	I,K,P/sek	-	-

- 1) Der Wert gilt zur Prüfung akuter Wirkungen von Arsen (resorptionsverfügbar) nach kurzfristiger Aufnahme
- 2) Maßnahmenwert (M), angegeben als Summe der 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalente nach NATO [ng I-Teq/kg]; gemäß MantelV/BBodSchV als WHO-TEQ von 2005, inkl. dl-PCB (dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle)
- 3) Empfohlene Prüfwerte für Sport- und Bolzplätze (vgl. DELSCHEN et al. 2006)
- \* zusätzlicher Parameter der MantelV/BBodSchV bzw. abweichender Wert gemäß MantelV/BBodSchV
- O: orale Aufnahme beurteilungsbestimmend
- I: inhalative Aufnahme bodenbürtiger Stäube beurteilungsbestimmend
- D: dermale Aufnahme auch zu berücksichtigen
- O/I: Orale und inhalative Aufnahme mit demselben Wirkendpunkt berücksichtigen
- P: Wert durch Plausibilitätsprüfung begründet
- P/sek: Plausibilitätsprüfung, Berücksichtigung sekundärer Verunreinigungen durch Verwehung, etc. (vgl. Kapitel 5.1.2)
- A: akute toxische Wirkungen ggf. beurteilungsbestimmend
- K: Kanzerogenitätsbetrachtung
- Bi: Bindungsform im Boden beurteilungsrelevant
- Ox: Oxidationsstufe relevant

Nach Charakterisierung des Schadstoffinventars (vgl. Kapitel 4.1) und Festlegung des Nutzungsszenarios (vgl. Kapitel 4.2) sind die weiteren Untersuchungsschritte der Expositionsabschätzung festzulegen.

**Festlegung  
der  
Unter-  
suchungs-  
schritte**

Die Schritte zur Prüfung der Expositionsbedingungen leiten sich aus den beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfaden (oral, inhalativ, dermal) ab. Dabei gibt die empfindlichste Art der Wirkung (chronisch toxisch, kanzerogen oder akut toxisch) Hinweise auf die erforderlichen Annahmen und Modelle zur Abschätzung der Schadstoffzufuhr (vgl. Kapitel 3.3.2 und Kapitel 4.1 sowie Anhang 3).

#### **5.1.1. Orale Aufnahme von Schadstoffen aus dem Boden**

In den Nutzungskategorien "Kinderspielflächen", "Haus- und Kleingarten", "Wohngebiete" und "Park- und Freizeitanlagen" dominiert für die meisten der in der BBodSchV betrachteten Schadstoffe der orale Aufnahmepfad die Bewertung (vgl. Tabelle 3). Für die Betrachtung dieses Aufnahmepfades werden Kinder im Alter bis 8 Jahren, die beim Spielen Boden verschlucken, als die sensibelste Nutzergruppe angesehen.

**Verschlucken  
von Boden**

Zur Überprüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen bieten sich Untersuchungen der **Resorptionsverfügbarkeit** an (vgl. Kapitel 5.2.4).

**Resorptions-  
verfügbarkeit**

Für nutzungsabhängige Expositions-betrachtungen sind Daten zur Ermittlung der **Bodenaufnahme** sowie zur **Expositionshäufigkeit und -dauer** zu erheben (vgl. Kapitel 5.3.1 und 5.3.2).

**Bodenauf-  
nahme**

#### **5.1.2. Inhalative Aufnahme partikulär gebundener Schadstoffe**

Für die Bewertung gesundheitlicher Wirkungen auf spielende Kinder kann auch die inhalative Aufnahme partikulär gebundener Schadstoffe durch Einatmen bodenbürtiger Stäube bei bestimmten Schadstoffen (**z.B. Chrom**) Bedeutung erlangen. Für einzelne Schadstoffe sind sowohl die inhalative als auch die orale Aufnahme ähnlich bedeutsam (**z.B. Nickel**), so dass nach Prüfwertüberschreitungen auch beiden Aufnahmepfaden nachgegangen werden muss.

**Inhalation  
bodenbürtiger  
Stäube...**

Im Szenario "**Sport- und Bolzplätze**" wird die inhalative Aufnahme bodenbürtiger Stäube durch Kinder und Jugendliche bis 14 Jahren für die Bewertung herangezogen (vgl. DELSCHEN et al. 2006).

**Abweichende  
Werteableitung  
beachten!**

Bei der Bewertung von "**Industrie- und Gewerbegrundstücken**" dominiert vom Grundsatz her die inhalative Aufnahme schadstoffhaltiger Stäube durch Erwachsene. Ein Großteil der für das Szenario "Industrie- und Gewerbegrundstücke" abgeleiteten Prüfwerte (z.B. Antimon, Blei, Cyanide, Quecksilber, 2,4-Dinitrotoluol, 2,6-Dinitrotoluol, DDT, Hexachlorbenzol, Hexachlorcyclohexan, Hexyl, Hexogen, Nitropenta, Pentachlorphenol, TNT) ist allerdings letztlich durch Plausibilitätsprüfungen begründet, da die Betrachtung der inhalativen Aufnahme im Einzelfall zu unpraktikabel hohen Werten führt (vgl. *Tabelle 4*). Vielmehr kommen in diesen Fällen Überlegungen zum Tragen, die sicherstellen sollen, dass es bei Einhalten der Prüfwerte für Industrie- und Gewerbegrundstücke nicht zu **sekundären Verunreinigungen** der diese ggf. umgebenden, empfindlicheren Flächennutzungen kommen kann, wenn Bodenmaterial ungezielt und diffus verlagert (abgeschwemmt, verweht, durch Rutschungen verbracht) wird.

Diese Überlegungen sind stoffspezifisch im Einzelfall bei den **Überlegungen zur Untersuchungsstrategie** zu beachten.

**Tabelle 4: Ableitung der Prüfwerte für das Nutzungsszenario "Industrie- und Gewerbegrundstücke" gemäß BBodSchV (Gesamtgehalte) [mg/kg TM]**

	<b>Berechneter Wert für inhalative Aufnahme</b>	<b>Prüfwerte</b>	<b>Begründung</b>
Antimon*	6.000 / 50	250	Bewertung wie Park- und Freizeitanlagen
Cyanide	1.000	100	Akute Wirkungen (doppelter Wert für Park- und Freizeitanlagen)
2,4-Dinitrotoluol*	289.000	50	Berücksichtigung von möglichen Abschwemmungen oder Verwehungen etc. in die Umgebung, pragmatisch festgelegt
2,6-Dinitrotoluol*	165.000	5	Fünffacher Wert für Park- und Freizeitanlagen
Hexachlorbenzol	870	200	pragmatisch festgelegt
Blei	97.000	2.000	Berücksichtigung von möglichen Abschwemmungen oder Verwehungen etc. in die Umgebung (doppelter Wert wie Park-Freizeitanlagen)
Quecksilber	7.430	80 / 100*	
DDT	4.168	400*	
Hexyl*	-	1.500	
Hexogen*	868.000	1.000	
Nitropenta*	-	5.000	
Pentachlorphenol	4.180	250/ 500*	
TNT*	82.700	200	

\* zusätzlicher Parameter der MantelV/BBodSchV / bzw. abweichender Wert gemäß MantelV/BBodSchV

Generell sind zur Überprüfung der **bodenabhängigen Expositionsbedingungen** bei Dominanz des inhalativen Aufnahmepfades Untersuchungen zur **Anreicherung in der Feinkornfraktion < 63 µm** möglich (vgl. Kapitel 5.2.5).

**Anreicherung  
in der Fein-  
kornfraktion**

Daten für die **nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen** (vgl. Kapitel 5.3) umfassen auch hier vornehmlich Informationen zur **Expositionshäufigkeit und -dauer** oder der Bodenbedeckung.

**bodenbürtige  
Staubinhalation**

### 5.1.3. Dermale Aufnahme von Schadstoffen aus dem Boden (perkutan)

Eine dermale (perkutane) Schadstoffaufnahme aus dem Boden ist bei entsprechendem Bodenkontakt möglich, wird jedoch insbesondere für anorganische Stoffe als vernachlässigbar angesehen (UBA 1999ff). Für organische Stoffe ist in Abhängigkeit ihres lipophilen Charakters sowie ihrer geringen Wasserlöslichkeit eine relevante Resorption durch die Haut möglich.

**Hautkontakt  
mit Boden...**

Bei den meisten Schadstoffen erlangt der dermale Aufnahmepfad gegenüber der inhalativen und insbesondere der oralen Aufnahme keine oder nur eine sehr geringfügige Bedeutung, so dass sich weitere Sachverhaltsermittlungen in Bezug auf diesen Aufnahmepfad bei diesen Stoffen erübrigen.

**...i.d.R. mit  
geringer  
Relevanz**

Zu berücksichtigen ist die dermale Aufnahme allerdings bei besonders gut hautgängigen Substanzen, für die im Rahmen der Prüfwertableitung gesonderte Betrachtungen durchgeführt wurden. So wird beispielsweise für einige **sprengstofftypische Verbindungen** (2,4-DNT, 2-6-DNT, Hexyl, Nitropenta, TNT) in der Begründung der Prüfwertableitung auf deren gute dermale Aufnahme hingewiesen, die qualitativ oder quantitativ in den abgeleiteten Prüfwerten berücksichtigt wurde.

**Ausnahme:  
einzelne  
Organika**

Auch für **BaP** wird dieser Aufnahmepfad aufgrund seiner lokalen Wirkungen nicht ausgeschlossen und qualitativ berücksichtigt (vgl. UBA 1999ff, vgl. Anhang 2).

Für weitere Stoffe und Stoffgruppen (PCP, DDT, PCB, Aldrin, Hexachlorcyclohexan, Hexachlorbenzol) wurde der dermale Aufnahmepfad als praktisch unbedeutend für eine Prüfwertableitung eingestuft.

Für einige **Kampfstoffe** (S-Lost, Chloracetophenon, Clark I, Pfiffikus) wurden im Rahmen der Prüfwertableitungen auch akute dermale Expositionen (vgl. UBA 1999ff, B070) abgeprüft, die sich jedoch im Vergleich als nachrangig erwiesen.

**Keine akute  
dermale  
Exposition**

Expositionsabschätzungen für den dermalen Aufnahmepfad haben bislang in der Bewertungspraxis kaum Bedeutung erlangt. Orientierende Hinweise zur Quantifizierung des dermalen Aufnahmepfades finden sich in LFUG 2003/2014 (vgl. Anhang 6).

## 5.2. Ermittlung bodenabhängiger Expositionsbedingungen

Ausgangspunkt zur Bestimmung von Schadstoffen im Boden ist i.d.R. die Untersuchung der Gesamtgehalte. Die Wirksamkeit der Schadstoffe im Boden in Hinblick auf die menschliche Gesundheit wird jedoch auch durch standortspezifische Bedingungen geprägt.

So können beispielweise Bodeneigenschaften oder -bestandteile die Resorptionsverfügbarkeit eines Schadstoffes oder die Schadstoffanreicherung in der lungengängigen Feinkornfraktion des Bodens beeinflussen.

### 5.2.1. Gesamtgehalte

Die Auswertung der Gesamtgehalte, die i.d.R. aus der orientierenden Untersuchung in der für den Wirkungspfad Boden-Mensch maßgeblichen Fraktion < 2 mm vorliegen, ist Grundlage der Detailuntersuchung und legt den Bedarf und die Durchführung der Untersuchungsschritte zur Expositionsabschätzung fest (vgl. Abbildung 1). Sind die Ergebnisse nicht ausreichend, um die Ausbreitung der Schadstoffe oder das Schadstoffinventar zu erfassen, sind ggf. **Nachuntersuchungen** erforderlich, die durch Sachverständige im Sinne §18 BBodSchG oder Personen mit vergleichbarer Sachkunde zu entwickeln und zu begründen sowie zu begleiten und zu dokumentieren sind (vgl. Kapitel 10).

### 5.2.2. Oxidationsstufen

Untersuchungen zur Oxidationsstufe sind dann sinnvoll, wenn ein Stoff in unterschiedlichen Oxidationsstufen im Boden vorkommt und diese unterschiedliche gesundheitsrelevante Eigenschaften zeigen. In der Altlastenbearbeitung ist der Einfluss unterschiedlicher Oxidationsstufen in der Regel nur bei Chrom von praktischer Relevanz.

Sechswertiges Chrom (Chrom<sub>VI</sub>, Chromat) gilt im Vergleich zum dreiwertigen Chrom (Chrom<sub>III</sub>) als deutlich toxischer, so dass eine Bewertung von Chrom<sub>gesamt</sub>

**Wirksamkeit  
und Verfüg-  
barkeit der  
Schadstoffe  
aus Boden**

**Daten-  
grundlage  
ausreichend?**

**Oxidations-  
stufe und  
Toxizität**

**z.B. Chrom**

differenziert nach Oxidationsstufen aus humantoxikologischer Sicht zu empfehlen ist (vgl. hierzu EIKMANN et al. 1999ff; ZEDDEL 2001).

Die Prüfwerte der BBodSchV wurden auf Basis der humantoxikologischen Beurteilung von Chrom<sub>VI</sub> abgeleitet. Kanzerogene Wirkungen nach inhalativer Aufnahme haben sich hierfür als maßgeblich herausgestellt. Unter der Annahme üblicher Anteile von Chrom<sub>VI</sub> am Chrom<sub>gesamt</sub>-Gehalt im Boden wurden dann die Prüfwerte für Chrom<sub>gesamt</sub> pragmatisch festgelegt. Werden die Prüfwerte für Chrom<sub>gesamt</sub> überschritten, sind die Annahmen in Bezug auf Chrom<sub>VI</sub> im Rahmen der Detailuntersuchung zu überprüfen.

**Chrom<sub>gesamt</sub>  
und Chrom<sub>VI</sub>**

Die MantelV/BBodSchV enthält ausgehend von derselben Datengrundlage daher zusätzlich auch Prüfwerte für Chrom<sub>VI</sub> (vgl. Tabelle 5).

**Prüfwerte Cr<sub>VI</sub>**

Verfahren zur Bestimmung von Chrom<sub>VI</sub> finden sich in der Methodensammlung des Fachbeirats Boden (FBU 2018).

**Tabelle 5: Spezifizierte Prüfwerte (Oxidationsstufe) für Chrom für den Direktpfad gemäß BBodSchV (Gesamtgehalte [mg/kg]), ergänzt um beurteilungsbestimmende Aufnahmepfade**

Parameter	Kinderspielfläche		Wohngebiet		Park- u. Freizeitanlage		Industrie- und Gewerbe		Sport- und Bolzplätze	
		I		I		I		I		I
Chrom <sub>gesamt</sub>	200	I	400	I	1.000 / 400*	I	1.000 / 200*	I	100	I
Chrom <sub>VI</sub>	130	I	260 / 250*	I	650 / 250*	I	650 / 130*	I	40	I
I: inhalative Aufnahme bodenbürtiger Stäube beurteilungsbestimmend * abweichender Wert gemäß MantelV/BBodSchV										

Die Bewertungsgrößen für "Industrie- und Gewerbegrundstücken" gemäß MantelV/BBodSchV repräsentieren Überlegungen zur Abstufung von Werten zwischen den sensiblen Nutzungen und "Industrie- und Gewerbegrundstücken" der BBodSchV von 1999, die mit Blick auf den langfristigen Schutz von Beschäftigten neugestaltet wurden.

Bei großflächigen schädlichen Bodenveränderungen können die Anteile von Chrom<sub>VI</sub> am Chrom<sub>gesamt</sub> flächenrepräsentativ erhoben und ggf. Beurteilungswerte für Chrom<sub>gesamt</sub> ermittelt werden.

**Weitere Untersuchungsstrategien für Chrom**

Grundsätzlich stellt auch die Bestimmung von Chrom in der Feinkornfraktion < 63 µm bei ausschließlicher Bedeutung des inhalativen Aufnahmepfades einen sinnvollen Untersuchungsschritt dar (vgl. Kapitel 5.2.5).

### 5.2.3. Bindungsform

Die Bindungsform kann bei einzelnen Stoffen ebenfalls entscheidenden Einfluss auf die Toxizität nehmen.

So zeigen beispielsweise **organische Zinnverbindungen** in Abhängigkeit von der Anzahl organischer Reste (Mono-, Di- oder Tributylzinn) oder beispielsweise der Länge des organischen Restes (Tributylzinn, Triethylzinn oder Trimethylzinn) unterschiedliche und zum Teil hochtoxische Wirkungen. In Umweltmedien haben insbesondere Tri-Organozinn-Verbindungen eine hohe Relevanz, sowohl aufgrund ihrer toxischen Wirkungen als auch aufgrund ihres Vorkommens. Umwandlungsprozesse durch Mikroorganismen beispielsweise im Boden sind möglich.

**Quecksilber**, das in seiner elementaren Form vergleichsweise flüchtig ist, kommt in der Umwelt häufig anorganisch, aber auch in organischen Verbindungen vor. Dabei sind im Boden Umwandlungsprozesse zwischen anorganischen und organischen Formen zu berücksichtigen. Durch Mikroorganismen, vor allem sulfatreduzierende Bakterien, oder abiotisch, durch andere Metallverbindungen, kann anorganisches Quecksilber insbesondere zu Methylquecksilber methyliert werden (vgl. HEMPEL 1993, SCHUSTER 1991).

**Bindungsform  
und Toxizität**

**z.B.  
Organozinn-  
verbindungen**

**z.B.  
Quecksilber**

#### **Beispiel: Quecksilber im Boden**

In exemplarischen Untersuchungen auf quecksilberbelasteten Flächen wurden 0,02 - 0,05 % bzw. bis max. 0,1 % Methylquecksilber nachgewiesen (AHU & IFUA 1992), eine Größenordnung, die auch in weiteren Untersuchungen bestätigt wurde (IFUA 2005, IFUA 2009). Als Erklärung wird angenommen, dass das Gleichgewicht für die Bildung bzw. Retention von Methylquecksilber im Boden ungünstig ist (vgl. SCHUSTER 1991). Wahrscheinlich wird das Gleichgewicht zwischen Methylquecksilberbildung und -abbau durch den Gehalt an Methylquecksilber kontrolliert, so dass eine Akkumulation von Methylquecksilber verhindert wird. SCHUSTER (1991) schließt in der Literaturstudie: "nur im Falle, dass das (mikrobiologisch gesteuerte) Gleichgewicht durch anthropogene Belastung des Bodens durch direkte Zufuhr von Methylquecksilber gestört wird, ist eine Anreicherung dieser organischen Quecksilberverbindung zu befürchten."

In Ausnahmefällen, wie beispielsweise in Moorböden können bedingt durch interne Prozesse der Methylierung unter anaeroben Bedingungen ausnahmsweise bis zu 40 % des Gesamtquecksilbers als Methylquecksilber vorliegen (LITZ et al. 2004).

Das Verhältnis von Methylquecksilber zum Gesamt-Quecksilber liegt für Böden meist deutlich unter 1 %. Spezielle Kontaminationen können z.B. auf Flächen vorliegen, auf denen quecksilberhaltige Pestizide eingesetzt wurden oder auf Standorten mit Verarbeitung von Quecksilber (z.B. Produktion von Zündhütchen).

Da sich sowohl die Endpunkte sensibelster Wirkungen als auch die Wirkstärken für anorganische und organische Quecksilberverbindungen unterscheiden, ist es zweckmäßig, bei Überschreitung der auf Gesamtgehalte an Quecksilber bezogenen Prüfwerte der BBodSchV den tatsächlichen Anteil an organischem Quecksilber zu bestimmen, soweit relevante Anteile nicht durch anderweitige Erkenntnisse ausgeschlossen werden können. Dies kann beispielsweise bei größeren Untersuchungskampagnen auch an einer Stichprobe erfolgen.

**Untersuchungsstrategien**

Standardisierte Verfahren zur Bestimmung von organischem Quecksilber in Böden existieren bislang noch nicht, jedoch eine Verfahrensrichtlinie des Umweltbundesamtes für Lebensmittel, die hilfswise anwendbar ist (vgl. RÜDEL et al. 2011)<sup>12</sup>. Zu beachten ist, dass Bodenproben gegenüber mikrobiellen Methylierungs- wie Demethylierungsprozessen geschützt werden sollten, was eine umfassende und zeitnahe Kühlung sowie eine anschließende Gefriertrocknung zur Probenvorbereitung erfordert (KODAMATANI et al. 2018, DEWILD et al. 2004).

Zur Prüfwertableitung wurden beide Bindungsformen zunächst getrennt betrachtet, aber nur für Quecksilber<sub>gesamt</sub> ein Prüfwert festgelegt. Dabei wird unterstellt, dass dieses Element sowohl in anorganischer, als auch in organischer Bindungsform im Boden vorliegt.

**Auswertung der Daten zu Quecksilber**

Sofern keine organischen Bindungsformen bzw. diese nur in einem irrelevanten Ausmaß vorkommen, können die für anorganische Quecksilberverbindungen errechneten "Prüfwerte" (vgl. UBA 1999ff) als Beurteilungsmaßstab herangezogen

---

<sup>12</sup> Für Lebensmittel liegen darüber hinaus folgende Europäische Normen vor:  
DIN EN 17266:2018-08 (Entwurf): Lebensmittel - Bestimmung von Elementen und ihren Verbindungen - Bestimmung von Organoquecksilber in Fisch- und Meeresfrüchten mit Feststoffquecksilberbestimmung  
DIN EN 16801:2016-07: Lebensmittel - Bestimmung von Elementen und ihren Verbindungen - Bestimmung von Methylquecksilber in Lebensmitteln marinen Ursprungs mit Isotopenverdünnung GC-ICP-MS

werden (vgl. Tabelle 6). Umgekehrt haben für organisches Quecksilber die entsprechend für organische Verbindungen berechneten "Prüfwerte" (vgl. UBA 1999ff) Relevanz (vgl. Tabelle 6).

**Tabelle 6: Spezifizierte Prüfwerte (Bindungsformen) für den Direktpfad gemäß BBodSchV (Gesamtgehalte [mg/kg], ergänzt um beurteilungsbestimmende Aufnahmepfade**

Parameter	Kinderspielfläche		Wohngebiet		Park- u. Freizeitanlage		Industrie- und Gewerbe		Sport- und Bolzplätze	
		O		O		O		I / O		I
Quecksilbergesamt	10	O	20	O	50	O	80 / 100*	I / O	250	I
Quecksilber (anorg)	25	O	50	O	120	O	-	-	-	-
Quecksilber (org)	5	O	10	O	25	O	-	-	-	-

O: orale Aufnahme von Boden beurteilungsrelevant  
I: inhalative Aufnahme bodenbürtiger Stäube beurteilungsbestimmend  
\* abweichender Wert gemäß MantelV/BBodSchV

Für beide Bindungsformen gilt der orale Aufnahmepfad (außer auf "Sport- und Bolzplätzen") als maßgeblich. Bei Überschreitung der Prüfwerte können im Rahmen der weiteren Expositionsabschätzung für anorganische Quecksilberverbindungen Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchungen (vgl. Kapitel 5.2.4) die bodenabhängigen Expositionsbedingungen konkretisieren.

**Quecksilber auf Kinderspielflächen, Wohngebieten und Park-/Freizeitanlagen**

Ist dagegen mit dem Vorkommen elementaren Quecksilbers zu rechnen, muss dessen Flüchtigkeit beachtet werden (vgl. Kapitel 6.1).

Für organische Quecksilberverbindungen, insbesondere Methylquecksilber gibt es Hinweise, dass diese auch von Pflanzen aufgenommen werden können, zumeist unter reduzierenden Bedingungen im Wurzelraum. Bei Prüfwertüberschreitungen mit relevantem Vorkommen von Methylquecksilber sollte auf eher verästeten Standorten bei gärtnerischer Nutzung der Transfer in Pflanzen mit berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 7.2.5).

**Transfer in Nutzpflanzen?**

Für "Industrie- und Gewerbegrundstücke" wurde aufgrund der anzunehmenden inhalativen Exposition ein Prüfwert (für anorganische Quecksilberverbindungen) von 7.430 mg/kg berechnet. Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wurde dieser Wert jedoch in Relation zu den Prüfwerten anderer Nutzungen abgesenkt. Damit soll sichergestellt werden, dass es bei Einhaltung des Prüfwertes nicht zu

**Keine Sekundärverunreinigungen im Umfeld**

Sekundärverunreinigungen der diese ggf. umgebenden, empfindlicher genutzten Flächen kommen kann. Überlegungen zur Einbeziehung der Umgebung sind daher bei der Planung von Expositionsabschätzungen ggf. zu berücksichtigen.

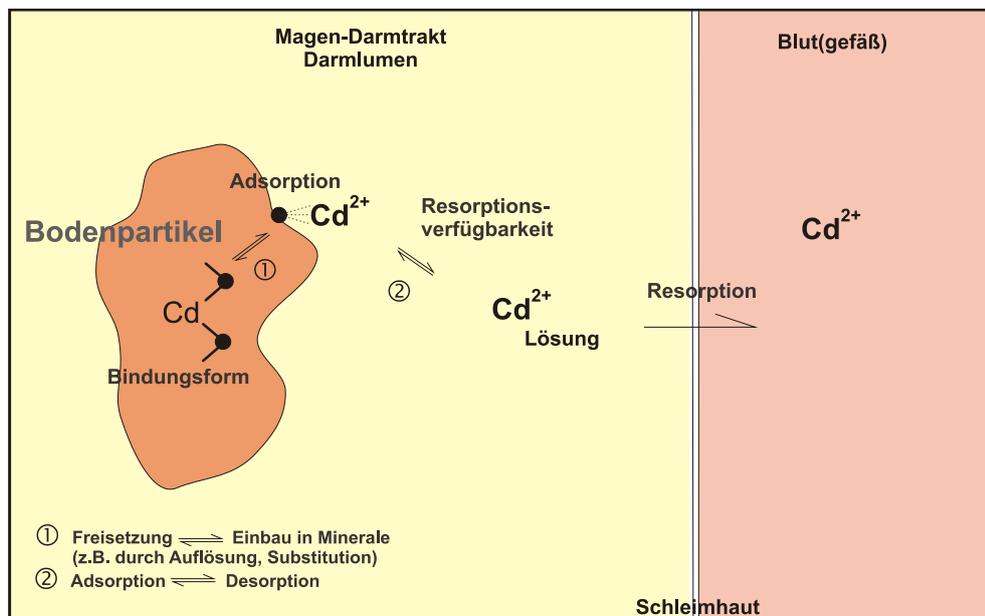
#### 5.2.4. Resorptionsverfügbarkeit (orale Aufnahme)

Zur Prüfung der mobilen oder mobilisierbaren Schadstoffanteile aus verschlucktem Boden (orale Aufnahme) ist ein laboranalytisches Verfahren zur Ermittlung der Resorptionsverfügbarkeit entwickelt, normiert und 2017 aktualisiert worden (DIN 19738:2017-06). Dieses Verfahren, auf das in der MantelV/BBodSchV in § 13 Abs. 3 hingewiesen wird, ist für diejenigen Parameter von Bedeutung, bei denen die orale Aufnahme beurteilungsrelevant ist (vgl. Tabelle 3).

**Simulation der  
Verdauungs-  
prozesse im  
Labor**

**DIN 19738**

Grundlage des Verfahrens 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, so für eine anschließende Resorption zur Verfügung steht und dann wirksam werden kann. Dies illustriert *Abbildung 3* beispielhaft für das Schwermetall Cadmium.



**Schadstoff-  
bindung an  
Bodenpartikel**

Abbildung 3: Prozesse im Vorfeld der Resorption am Beispiel Cadmium verunreinigter Bodenpartikel (LANUV 2014)

Während bei der Ableitung der Prüfwerte die stoffspezifische Resorption (Bioverfügbarkeit) gelöster Stoffe<sup>13</sup> berücksichtigt ist, wurde für alle Schadstoffe eine **100%ige Resorptionsverfügbarkeit (RV) aus Boden als Grundannahme** unterstellt. Dies gilt es, im Einzelfall durch laboranalytische Bestimmung des resorptionsverfügbaren Stoffgehaltes zu überprüfen (*vgl. hierzu Anhang 3*).

Laut DIN 19738 kann das Verfahren 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**) Anwendung finden. Praktische Erfahrungen liegen für Organika bislang lediglich mit Untersuchungen der Resorptionsverfügbarkeit von Benzo(a)pyren vor. Für weitere Organika, wie TNT und PCB, hat ein Ringversuch zur Validierung des DIN-Verfahrens die methodischen Grenzen des Verfahrens aufgezeigt, so dass in der Praxis für diese Stoffe oft nach wie vor von einer 100%igen Resorptionsverfügbarkeit ausgegangen wird. Im Einzelfall sollte jedoch die Anwendbarkeit des DIN-Verfahrens in diesen Fällen nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.

**DIN 19738 geeignet für...**

In der Regel werden die Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit in Rückstellproben durchgeführt. Die Analytik nach DIN 19738 ist in der Fraktion < 2 mm durchzuführen. Um methodische Fehler oder die Inhomogenität der Probe besser erkennen zu können, sollten auch die Gesamtgehalte der Rückstellproben neu bestimmt werden (*vgl. Kapitel 10.1*).

**Probennahme und Analytik**

Zur Beurteilung der so ermittelten **Messwerte für die Resorptionsverfügbarkeit (RV)** sind dann je nach Parameter Beurteilungswerte ( $BW_{RV}$ ) im Sinne von Maßnahmenwerten festzulegen. Grundlage hierfür bilden in der Regel die Prüfwerte der BBodSchV.

**Gleichung 1: Beurteilungswert ( $BW_{RV}$ ) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, orale Aufnahme**

$BW_{RV}$  = Prüfwert BBodSchV

Mit:

$BW_{RV}$  [mg/kg] = Beurteilungswert bezogen auf gemessene resorptionsverfügbare Gehalte (< 2 mm)

<sup>13</sup> Aufnahme gelöster Schadstoffe im Darm und Transport in Organe, Gewebe, Blut oder andere Körperflüssigkeiten, um dort – nun bioverfügbar genannt – seine schädliche Wirkung entfalten zu können.

Gesonderte Überlegungen zur Auswertung der Ergebnisse sind notwendig bei Stoffen wie **Arsen, Blei, Quecksilber, Nickel**, bei denen die Prüfwerte abweichend vom standardisierten Verfahren (vgl. hierzu UBA 1999ff) abgeleitet wurden (siehe Kasten).

**Abweichende  
Werteableitung  
berücksichtigen!**

**Ausnahme Blei**

Aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen sowie Daten aus epidemiologischen Studien, die zur Prüfwerteableitung geführt haben, ist für Blei die Resorptionsverfügbarkeit in den Prüfwerten implizit berücksichtigt. Daher sind zur Bewertung von gemessenem resorptionsverfügbarem Blei (innere Exposition) die folgenden ursprünglich berechneten Beurteilungswerte heranzuziehen:

- 70 mg Pb/kg Boden (Kinderspielflächen),
- 145 mg Pb/kg Boden (Wohngebiet) bzw.
- 360 mg Pb/kg Boden (Park- und Freizeitanlagen).

**Ausnahme Arsen**

Für Arsen ist der Akutwert (resorptionsverfügbar) von 100 mg/kg zu beachten (vgl. Anhang 2).

**Ausnahme Quecksilber:**

Für anorganisches Quecksilber können die in Tabelle 6 genannten Werte als Beurteilungswerte herangezogen werden.

**Ausnahme Nickel**

Für Nickel ist neben dem oralen zusätzlich auch der inhalative Aufnahmepfad zu berücksichtigen.

Sollen dagegen in diesem Untersuchungsschritt die Ergebnisse bezogen auf die **Gesamtgehalte** beurteilt oder beispielsweise gebietsbezogene Aussagen zur Resorptionsverfügbarkeit integriert werden, ist es alternativ auch möglich, je nach Parameter Beurteilungswerte ( $BW_{gesamt}$ ) im Sinne von Maßnahmenwerten für Gesamtgehalte zu bestimmen. Hierfür ist die Resorptionsverfügbarkeit als Faktor  $f_{RV}$  zu berücksichtigen.

**Gleichung 2: Beurteilungswert ( $BW_{gesamt}$ ) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, orale Aufnahme**

$$BW_{gesamt} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{f_{RV}}$$

Mit:

$$f_{RV} = \frac{\text{resorptionsverfügbarer Gehalt RV } \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right] \text{ nach DIN 19738}}{\text{Gesamtgehalt } \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}$$

$BW_{gesamt}$  [mg/kg] = Beurteilungswert, bezogen auf gemessene Gesamtgehalte (< 2 mm)

$f_{RV}$  [dim.los] = Faktor für Resorptionsverfügbarkeit (orale Aufnahme)

Die Beurteilungswerte (BW) beziehen sich immer auf die betrachtete Nutzung. Je nach Wahl der Expositionsbedingungen und Festlegung des Szenarios und damit der Prüfwerte werden auf diese Weise Beurteilungswerte für die **sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung (s)** d.h. **(BWs)** (vgl. Kapitel 2.4 und Abbildung 1), bzw. ggf. für die **aktuelle Nutzung (a)** d.h. **(BWA)** ermittelt (vgl. Kapitel 5.3 und 5.4).

**Beispiel: Arsen auf einer Kinderspielfläche**

In einem Einzelfall ist bei Nutzung als Kinderspielfläche ein Gesamtgehalt an Arsen von 45 mg As/kg Boden sowie ein resorptionsverfügbare Gehalt (RV) von 20 mg As/kg Boden gemessen worden.

Nach Gleichung 1 kann der gemessene RV-Gehalt mit dem  $BW_{RV}$  abgeglichen werden:

$$BW_{RV} = \text{Prüfwert BBodSchV} = 25 \text{ mg As/kg Boden}$$

Der gemessene RV-Gehalt von 20 mg As/kg Boden unterschreitet damit den  $BW_{RV}$  in Höhe von 25 mg As/kg Boden.

**Beispiel: Arsen auf einer großflächig belasteten Fläche (Kinderspiel)**

Auf einer großflächig belasteten Fläche wurde ein Anteil repräsentativ ausgewählter Proben auf die Resorptionsverfügbarkeit von Arsen untersucht. Nach Klärung statistischer Anforderungen an die Auswertung der Daten und Festlegung eines Perzentils (vgl. Kapitel 9.3.3) wurde der standortspezifische  $f_{RV}$  mit 0,4 (95. Perzentil) bestimmt. Als Nutzung der Fläche wurde Kinderspiel zugrunde gelegt.

Damit ergibt sich nach Gleichung 2 der standortspezifische  $gBW_{\text{gesamt}}$  wie folgt:

$$gBW_{\text{gesamt}} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{f_{RV}} = \frac{25 \frac{\text{mg As}}{\text{kg Boden}}}{0,4} = 62,5 \frac{\text{mg As}}{\text{kg Boden}}$$

Wird auf der Fläche ein Gesamtgehalt von beispielsweise 58 mg As/kg Boden gemessen, gilt der Beurteilungswert  $gBW_{\text{gesamt}}$  für Arsen unterschritten.

Im Einzelfall kann von der Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit abgesehen werden, wenn beispielsweise hohe Prüfwertüberschreitungen (um mehr als das 10-fache) vorliegen (vgl. Kapitel 3.3.2.2) und die aktuelle Nutzung nicht gleichzeitig erheblich von den Standardnahmen abweicht (vgl. Kapitel 5.3).

**Ausnahmen!**

**5.2.5. Schadstoffanreicherung in der Feinkornfraktion < 63 µm (inhalative Aufnahme)**

Für Schadstoffe, wie **Chrom und Nickel**, für die aufgrund ihrer gesundheitlichen Wirkungen der inhalative Aufnahmepfad im Vordergrund steht bzw. als gleichrangig gegenüber dem oralen Aufnahmepfad einzustufen ist (vgl. Tabelle 3), ist eine Überprüfung der Schadstoffgehalte in der lungengängigen Fraktion des Bodens sinnvoll.

**Lungengängige Fraktion im Boden**

Gleiches gilt für Szenarien, in denen der inhalative Aufnahmepfad generell dominiert - so auf Industrie- und Gewerbegrundstücken oder Sport- und Bolzplätzen (vgl. Kapitel 5.1.2).

Basierend auf der Annahme, dass das Feinkorn des Bodens aufgrund physikalischer Gegebenheiten höhere Schadstoffgehalte als das Grobkorn aufweist, wird gemäß BBodSchV für anorganische Stoffe ein Anreicherungsfaktor von 5, für organische Schadstoffe von 10 angenommen. Dieses gilt es im Einzelfall wie nachfolgend beschrieben zu prüfen.

**Schadstoffanreicherung im Feinkorn  
5 oder 10-fach**

**Definition: Lungengängige Fraktion**

Als humantoxikologisch bedeutsame, lungengängige Fraktion sind Partikel mit einem Durchmesser von  $< 10 \mu\text{m}$  (PM10) anzusehen<sup>14</sup> (vgl. EIKMANN et al. 1993; HEMPFLING et al. 1997; AGLMB 1995). Der Anteil der Staubpartikel  $< 10 \mu\text{m}$  am Luftstaub wird für Stadtgebiete im Allgemeinen mit 85 % angenommen (vgl. EIKMANN et al. 1993).

**Siebbare Feinkornfraktion  
< 63  $\mu\text{m}$**

Eine labortechnische Fraktionierung der lungengängigen Fraktion  $< 10 \mu\text{m}$  ist allerdings sehr aufwändig. Hilfsweise besteht die Möglichkeit, auf die Analytik der Feinkornfraktion  $< 63 \mu\text{m}$  des Bodens zurückzugreifen. Nach DIN EN ISO 17892-4 (2016-04) bzw. DIN ISO 11277 lassen sich Korngrößenfraktionen bis zu einem Durchmesser  $< 63 \mu\text{m}$  absieben (vgl. auch Anhang 3, Kapitel 2.1.1.2).

Bestimmt werden dann in dieser Fraktion die Gesamtgehalte bzw. besonders relevante Spezies/Bindungsformen (z.B. Chrom<sub>VI</sub>), um die Annahmen zum Anreicherungsverhalten von Substanzen im Staub näherungsweise zu überprüfen (vgl. auch § 22 MantelV/BBodSchV). Nach den Vorgaben der BBodSchV werden diese Untersuchungen in Proben aus dem Tiefenbereich 0-2 cm durchgeführt. In Ausnahmefällen können auch Proben / Rückstellproben aus dem Beprobungshorizont 0-10 cm herangezogen werden (vgl. Kapitel 10.1).

**Untersuchungsmethoden**

Zur Beurteilung der so ermittelten **Messwerte in der Feinkornfraktion  $< 63 \mu\text{m}$**  sind dann je nach Parameter Beurteilungswerte ( $BW_{\text{Feinkornfraktion}}$ ) im Sinne von Maßnahmenwerten festzulegen. Grundlage hierfür bilden in der Regel die Prüf-

---

<sup>14</sup> Nach TA-Luft werden für PM10 Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit vorgegeben.

werte der BBodSchV, die mit dem standardmäßig berücksichtigten Anreicherungsfaktor für die Feinkornfraktion von 5 (Metalle) bzw. 10 (Organika) zu multiplizieren sind.

**Gleichung 3: Beurteilungswert ( $BW_{\text{Feinkornfraktion}}$ ) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, inhalative Aufnahme**

$$BW_{\text{Feinkornfraktion}} = \text{Prüfwert BBodSchV} * 5 \text{ (bzw. 10 für Organika)}$$

Mit:

$$BW_{\text{Feinkornfraktion}} [\text{mg/kg}] = \text{Beurteilungswert bezogen auf gemessene Gehalte in der Feinkornfraktion} < 63 \mu\text{m}$$

**Beispiel: Chrom auf einer Kinderspielfläche**

Auf einer Kinderspielfläche wurden in der Fraktion < 2 mm Chromgehalte von 300 mg Cr/kg Boden gemessen. Detailuntersuchungen erbrachten in der Feinkornfraktion < 63 µm 800 mg Cr/kg Boden.

Nach Gleichung 3 ergibt sich:

$$BW_{\text{Feinkornfraktion}} = \text{Prüfwert BBodSchV} * 5 = 200 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}} * 5 = 1000 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}}$$

$$BW_{\text{Feinkornfraktion}} = 1000 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}} > \text{Messwert} = 800 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}}$$

Der gemessene Gehalt in der Feinkornfraktion < 63 µm unterschreitet den  $BW_{\text{Feinkornfraktion}}$ .

Sollen dagegen in diesem Untersuchungsschritt die Ergebnisse bezogen auf die **Gesamtgehalte** beurteilt oder beispielsweise gebietsbezogene Aussagen zum Anreicherungsverhalten von Schadstoffen in der Feinkornfraktion < 63 µm integriert werden, ist es alternativ auch möglich, je nach Parameter Beurteilungswerte ( $BW_{\text{gesamt}}$ ) im Sinne von Maßnahmenwerten für Gesamtgehalte zu bestimmen. Hierfür ist der Anreicherungsfaktor als Faktor  $f_{\text{Anreicherung}}$  zu berücksichtigen.

**Gleichung 4: Beurteilungswert ( $BW_{\text{gesamt}}$ ) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, inhalative Aufnahme**

$$BW_{\text{gesamt}} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{f_{\text{Anreicherung}}}$$

$$f_{\text{Anreicherung}} = \frac{\text{Gehalt in der Feinkornfraktion} < 63 \mu\text{m} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}{\text{Gehalt in der Fraktion} < 2 \text{ mm} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right] * 5 \text{ (anorg.) bzw. 10 (org.)}}$$

Mit:

$$BW_{\text{gesamt}} [\text{mg/kg}] = \text{Beurteilungswert bezogen auf gemessene Gesamtgehalte} (< 2 \text{ mm})$$

$$f_{\text{Anreicherung}} [\text{dim.los}] = \text{Faktor für Anreicherung in der Feinkornfraktion} < 63 \mu\text{m (inhalative Aufnahme)}$$

Der Faktor  $f_{\text{Anreicherung}}$  nimmt den Wert 1 an, wenn die Annahmen der BBodSchV hinsichtlich der Anreicherung von 10 für organische Schadstoffe bzw. 5 für anorganische Schadstoffe zutreffen. Ist der Faktor dagegen kleiner als 1, findet am Standort eine geringere Anreicherung statt, als für den Prüfwert nach BBodSchV angenommen.

**Beispiel: Chromanreicherung auf einer großflächig belasteten Fläche (Kinderspiel)**

Auf einer großflächig belasteten Fläche wurde ein Anteil repräsentativ ausgewählter Proben sowohl auf Chrom in der Fraktion < 2 mm als auch < 63 µm untersucht. Nach Klärung statistischer Anforderungen an die Auswertung der Daten und Festlegung eines Perzentils (vgl. Kapitel 9.3.3) wurde der standortspezifische  $f_{\text{Anreicherung}}$  nach Gleichung 4 bestimmt:

$$f_{\text{Anreicherung}} = \frac{\text{Gehalt in der Feinkornfraktion} < 63 \mu\text{m} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}{\text{Gehalt in der Fraktion} < 2 \text{ mm} \frac{\text{mg}}{\text{kg}} * 5 \text{ (anorg.)}} = \frac{800 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}}}{300 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}} * 5} = 0,533$$

Aus Gleichung 4 ergibt sich als Faktor für die Anreicherung  $f_{\text{Anreicherung}} = 0,533$  und mit Hilfe dessen kann dann der Beurteilungswert  $g\text{BW}_{\text{gesamt}}$  in Höhe von 375 mg Cr/kg Boden ermittelt werden.

Als Nutzung der Fläche wurde Kinderspiel zugrunde gelegt. Auf der Kinderspielfläche wurden in der Fraktion < 2 mm Chromgehalte von 340 mg Cr/kg Boden gemessen.

$$g\text{BW}_{\text{gesamt}} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{f_{\text{Anreicherung}}} = \frac{200 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}}}{0,533} = 375 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}}$$

$$g\text{BW}_{\text{gesamt}} = 375 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}} > \text{Messwert} = 340 \frac{\text{mg Cr}}{\text{kg Boden}}$$

Der Messwert von 340 mg Cr/kg Boden unterschreitet den Beurteilungswert  $g\text{BW}_{\text{gesamt}}$ .

Bei der Ermittlung der BW ist grundsätzlich auch die **Nutzung** zu betrachten. Je nach Auswahl und Festlegung des Szenarios und damit der Prüfwerte werden auf diese Weise Beurteilungswerte für die **sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung (s)** d.h. (**BWs**) (vgl. Kapitel 2.4 und Abbildung 1), bzw. ggf. auch für die **aktuelle Nutzung (a)** d.h. (BWa) ermittelt (vgl. Kapitel 5.3 und 5.4).

**BWs oder BWa?**

**5.2.6. Staubkonzentration in der Luft (inhalative Aufnahme)**

In der Ableitung der Prüfwerte der BBodSchV wird zur Quantifizierung des inhalativen Aufnahmepfades von einer Staubkonzentration von 1 mg/m³ Luft ausgegangen, die als wirkungsrelevant anzusehen ist. Dieser Wert basiert auf einem Simulationsversuch bei Gartenarbeit unter trockenen Witterungsbedingungen (UBA 1999ff). Für Industrie- und Gewerbestandorte wird eine über den Tag gemittelte Staubkonzentration von 0,325 mg/m³ angenommen. Für die Bewertung

**Annahmen zur Staubeentwicklung...**

**...je nach Nutzung**

von Sport- und Bolzplätzen wurden von DELSCHEN et al. (2006) in Anlehnung an Untersuchungen und Aussagen der AGLMB (1995) 10 mg/m<sup>3</sup> angenommen. Für die Betrachtung akuter Expositionen von Kindern gegenüber bodenbürtigen Schadstoffen wird standardgemäß von einer Staubentwicklung von 6 mg/m<sup>3</sup> über eine Stunde ausgegangen (UBA 1999ff).

Gibt es Hinweise auf standortspezifische Bedingungen, die von den Standardannahmen abweichen, wären Untersuchungen zur Quantifizierung der Entwicklung bodenbürtiger Stäube selbst denkbar. Da diese jedoch von einer Vielzahl an Variablen (Bodenart, Bodendichte, Feuchtigkeit der Bodenoberfläche und Bodenbedeckung sowie meteorologische Faktoren wie Wind, Niederschläge, Temperatur sowie nicht zuletzt vom Verhalten der Nutzenden selbst) abhängig ist, scheint dieser Ansatz in der Praxis wenig geeignet. Denkbar sind jedoch Auswertungen in Hinblick auf die Zugänglichkeit des Bodens (*vgl. Kapitel 5.3.1*).

***Untersuchungen zur Staubkonzentration?***

Jedoch ist zu berücksichtigen, dass sich die Staubbelastung an einem Standort nicht nur aus den feinen Partikeln des Bodens speist, sondern auch auf andere Emittenten zurückzuführen ist. Dies erschwert bodenbezogene Aussagen, die sich aus Untersuchungen zur Belastung des Staubs am Standort ergeben.

***Störeinflüsse / Emittenten?***

### **5.2.7. Dermale Verfügbarkeit**

Für einige organische Stoffe, die nach dermale Kontakt in den menschlichen Organismus aufgenommen werden und gesundheitliche Beeinträchtigungen entfalten können (beispielsweise sprengstofftypische Verbindungen), sowie Stoffe, die lokal, an der Kontaktfläche Effekte auslösen können (beispielsweise BaP), stellt sich die Frage nach der Untersuchung standörtlicher Bodeneigenschaften und -bedingungen zur Überprüfung der dermalen Exposition (*vgl. Kapitel 5.1.3*).

Zur Abschätzung der Relevanz der dermalen Aufnahme von bodenbürtigen Schadstoffen wurde seitens der TU Berlin eine In-vitro-Methode entwickelt (KAISER 2010). Diese wurde bislang nur für leichtflüchtige Stoffe getestet, die ohnehin aufgrund ihres niedrigen Siedepunktes kaum in relevantem Umfang über die Haut aufnehmbar sein sollten. Die experimentell ermittelten mobilisierbaren Gehalte werden analog zu den nach DIN 19738 ermittelten Gehalten für die orale Aufnahme als "potenziell resorptionsverfügbar" – hier über die Haut – bezeichnet. Es bleibt allerdings abzuwarten, ob sich dieses Verfahren speziell zur Bewertung des

***Methodische Ansätze in der Entwicklung***

dermalen Transferpfades von mittel- bis schwerflüchtigen organischen Stoffen (z.B. PAK oder auch PCB) in der Zukunft als geeignet erweisen wird.

### 5.3. Ermittlung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen

Zu den standortspezifischen Bedingungen, die die Wirksamkeit von Schadstoffen in Böden auf die menschliche Gesundheit beeinflussen, zählen auch Aspekte der Nutzung. Hier ist die Flächengestaltung ebenso einzubeziehen wie die Intensität der Nutzung, wodurch das Ausmaß des Bodenkontaktes im Einzelfall beeinflusst werden kann. Die folgenden Unterkapitel befassen sich mit Verfahren zur Quantifizierung **aktueller nutzungsabhängiger Expositionsbedingungen**.

Eine Dokumentation der allgemeinen Standards zur Quantifizierung der Exposition für die verschiedenen Nutzungsszenarien und Aufnahmepfade findet sich in *Anhang 3*.

Insbesondere die Nutzung als "Hausgarten" und "Kleingarten" sowie "Wohngebiet" ist durch sehr unterschiedliche Nutzungsformen und -intensitäten gekennzeichnet, so dass hier die aktuelle Nutzung zum Teil erheblich von den Standardannahmen abweichen kann. Für die Expositionsabschätzung ist eine Aussage darüber zu treffen, wieviel Boden (mit den darin enthaltenden Schadstoffen) von den Nutzenden der Fläche aufgenommen wird und mit welcher Frequenz und Dauer solche Ereignisse stattfinden.

Die Berücksichtigung nutzungsabhängiger Expositionsbedingungen verbietet sich allerdings, wenn es Hinweise auf Stoffe mit **akut toxischen Wirkungen** gibt (z.B. Cyanide). Hier ist die Prüfung von Sofortmaßnahmen erforderlich (*vgl. Kapitel 3.3.2.1*).

Für die Szenarien "Kinderspielfläche" und "Park- und Freizeitanlage" sollte die Prüfung nutzungsabhängiger Expositionsbedingungen nur in Ausnahmefällen durchgeführt werden, da hier Flächen zu bewerten sind, die von unterschiedlichsten Nutzenden (jedoch in sehr einheitlicher Art und Weise) frequentiert werden. Auf diesen Flächen sollten individuelle nutzungsabhängige Annahmen und Angaben nicht oder nur sehr pauschalisiert und nachweislich begründet in die Gefahrenbeurteilung einfließen.

**Berücksichtigung aktueller Expositionsbedingungen**

**...gut geeignet für Haus- und Kleingarten**

**Akute Wirkung?**

**Ausnahmen!!**

### 5.3.1. Bodenaufnahmemenge/-rate - Zugänglichkeit des Bodens

Die Schadstoffaufnahme aus dem Boden wird neben der Form der Nutzung insbesondere auch durch die **aktuelle Gestaltung** der Fläche bestimmt. So können der **Grad der Versiegelung (z.B. Betonfläche, Steinplatten)** oder die **Vegetationsbedeckung der Bodenoberfläche (Pflanzenwuchs, Rasen)** zu einer Verringerung der aktuell anzunehmenden oralen Bodenaufnahme gegenüber den zugrundeliegenden Annahmen und Konventionen für das sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzungsszenario beitragen. In Hinblick auf die inhalative Aufnahme ist in dem Fall mit einer Verringerung der angenommenen Staubentwicklung zu rechnen. Zugangsbeschränkungen durch **Zäune** etc. können die mögliche Nutzergruppe einschränken, wie beispielsweise auf Schießplätzen.

*möglicher  
Bodenkontakt*

Üblicherweise wird die Nutzung einer Fläche bereits in der orientierenden Untersuchung im Zuge der Probennahme dokumentiert. In Hinblick auf die Prüfung der Expositionsbedingungen sollte ergänzend und frühzeitig die konkrete Flächengestaltung erhoben und dokumentiert werden, beispielsweise in Form einer Nutzungskartierung, Fotodokumentation oder Befragung der Nutzenden, aus der der Grad der Versiegelung oder Bodenbedeckung bzw. die Vegetationsdichte der Fläche hervorgeht und die Zugänglichkeit abgeleitet werden kann.

*Daten-  
Erhebung zur  
Nutzung und  
Zugänglichkeit*

Bei großflächigen Betrachtungen können ggf. typische Nutzungsstrukturen bereits zur Beschreibung der **ortsüblichen Prägung** erhoben und zur Konkretisierung des Nutzungsszenarios für die sensibelste planungsrechtliche Nutzung herangezogen werden (*vgl. Kapitel 4.3*).

Nach den Standardannahmen für den Wirkungspfad Boden-Mensch wird modellhaft davon ausgegangen, dass Kinder **beim intensiven Spielen** (Szenario "Kinderspielfläche") langfristig (über 8 Jahre) 0,5 g Boden pro Spieltag (an 240 Tagen pro Jahr, *vgl. Kapitel 5.3.2*) aufnehmen, d.h. hochgerechnet ergeben sich daraus **120 g Boden pro Jahr**.

*Intensives  
Kinderspiel*

Für das Szenario "Wohngebiet" wird modellhaft von einer **geringeren Intensität des Kinderspiels** ausgegangen, so dass hier die Bodenaufnahme mit **60 g Boden pro Jahr** (d.h. entweder 0,5 g Boden an 120 Spieltagen pro Jahr oder 0,25 g Boden an 240 Spieltagen pro Jahr; *vgl. Kapitel 5.3.2*) angenommen wird.

Zur Betrachtung von Stoffen mit akuter Wirkung wird eine einmalige Bodenaufnahme von 10 g unterstellt (vgl. Anhang 3).

Wurde eine Fläche als **Haus- oder Kleingarten bzw. Wohngebietsfläche** eingestuft (vgl. Kapitel 4.3), ist daher zur Bewertung der aktuellen Situation als erstes zu prüfen, ob auf der Fläche Kinderspiel überhaupt in **intensivem Ausmaß** stattfindet. Anhaltspunkte hierfür können das Vorhandensein von Spielgeräten oder Spielflächen sein, oder sich aus Befragungen der Nutzenden ergeben.

**Findet Kinderspiel statt?**

Gibt es Anhaltspunkte für intensives Kinderspiel, ist die **aktuelle Nutzung der Fläche (oder einer abgrenzbaren Teilfläche) als Kinderspielfläche** einzustufen und die Modellannahme dafür heranzuziehen (120 g Boden/a).

Wurde eine klar abgrenzbare Teilfläche als Kinderspielfläche identifiziert, sind in der Detailuntersuchung repräsentative Untersuchungsergebnisse dieser Teilfläche zu ermitteln oder heranzuziehen. Hierbei ist zu beachten, dass sich ggf. rasch Nutzungsänderungen (*siehe Kasten*) ergeben können, auf die im Rahmen der abschließenden Gefährdungsabschätzung explizit hinzuweisen ist und vor deren Hintergrund die Ergebnisse entsprechend zu würdigen sind.

#### **Beispiele: Nutzungsänderungen in Haus- und Kleingärten**

In Haus- und Kleingärten kann die aktuelle Nutzung u.U. sehr schnell wechseln:

- Spielgeräte (und damit Kinderspielflächen) werden aus diversen Gründen in die andere Ecke des Gartens versetzt
- Kleinkinder finden andere (unversiegelte) Gartenbereiche viel spannender als den Bereich um die Sandkiste herum
- der Hauptaufenthaltsbereich befindet sich im Vorgarten, weil dort im Sommer mehr Schatten ist
- Beete werden zu Rasenflächen und Rasenflächen zu Beeten
- im Laufe eines heißen Sommers wird der (zunächst dichte) Rasenbewuchs immer lückiger
- die Bewuchsdichte nach dem Vertikutieren ist verändert
- etc.

Gibt es **keine Hinweise** auf intensive Kinderspielaktivitäten, kann eine Abschätzung und näherungsweise Quantifizierung der aktuellen Bodenaufnahmemengen unter Berücksichtigung von Subnutzungen durchgeführt werden.

**Welche Subnutzungen sind bekannt?**

Wenn davon auszugehen ist, dass Kinder sich nur selten auf den zu beurteilenden Flächen aufhalten, können folgende Werte für verschiedene Subnutzungen als Anhaltspunkte für die zu berücksichtigenden Bodenaufnahmemengen dienen (vgl. Tabelle 7).

**Tabelle 7: Subnutzungen und Bodenaufnahmemengen (Quelle: LANUV 2014)**

Subnutzung	Bodenaufnahmemenge		Bemerkung	Intensität der Exposition
Nutzbeete	0,25 g/d	60 g/a (0,25 g/d * 240 d/a) (0,5 g/d * 120 d/a)	offener Boden, direkter Kontakt eingeschränkt möglich	mittel
Zierbeete (auch lockere Gehölzbestände)	0,25 g/d	60 g/a (0,25 g/d * 240 d/a) (0,5 g/d * 120 d/a)	offener Boden, direkter Kontakt eingeschränkt möglich	mittel
Rasen	0,1 g/d	24 g/a (0,1 g/d * 240 d/a) (0,5 g/d * 48 d/a)	geschlossene Rasendecke, direkter Kontakt kaum möglich	gering

In diesen Fallgestaltungen wird angenommen, dass bei weniger intensivem Aufenthalt von Kindern ein eher gleichmäßiger Aufenthalt ohne eine spezifische Bevorzugung auf den Teilflächen stattfindet.

Für die Abschätzung der Bodenaufnahme ist der Bedeckungsgrad der Flächen zu berücksichtigen. Auf dicht bewachsenen Flächen kann die Bodenaufnahme als deutlich reduziert gewertet werden.

Teilflächen, bei denen der Boden unzugänglich ist (wie beispielsweise versiegelte oder überbaute Flächen) werden **nicht anteilig** bei der Ermittlung der Gesamtfläche miteinbezogen (s.u.). Für sehr dicht bewachsene Flächen (z.B. mit Hecken- oder Bodendecker-Bewuchs) ist eine entspre-



**Betrachtung nicht zugänglicher Flächen**

chende gutachterliche Beurteilung notwendig. Nur wenn hier tatsächlich kein direkter Bodenkontakt möglich bzw. anzunehmen ist, sollten auch diese Flächen bei der Ermittlung der Gesamtfläche ausgenommen werden.

Im Rahmen einer Kartierung sind die in Tabelle 7 genannten Subnutzungen zu erfassen und deren **Anteile an der zugänglichen Gesamtfläche** zu berechnen. Mit diesen Angaben kann im nächsten Schritt ein gewichteter Wert für die Bodenaufnahmemenge bestimmt werden. Die folgende Tabelle 8 enthält dazu ein Beispiel:

**Tabelle 8: Berechnung der täglichen Bodenaufnahmemenge in einem Hausgarten (Beispiel)**

Subnutzung	Aufnahmemenge in g/d	Anteil an der zugänglichen Fläche*	Bodenaufnahmemenge pro Nutzungsanteil in g/d
Nutzgarten	0,25	5 %	0,0125
Ziergarten	0,25	15 %	0,0375
Rasen	0,1	80 %	0,08
<b>Summe</b>		<b>100 %</b>	<b>0,130</b>

\* Versiegelte und unzugängliche Flächen werden bei der Berechnung der Gesamtfläche **nicht berücksichtigt!**

D.h. die abgeschätzte Bodenaufnahme kann die **Untergrenze von 0,1 g/d** (wie Rasen) im Sinne konservativer Annahmen für die zugänglichen Bereiche nicht unterschreiten (vgl. hierzu Anhang 3). Gleichzeitig sind auch die Annahmen zur Aufenthaltshäufigkeit **nicht** ohne stichhaltige Begründung **auf weniger als 120 Tage pro Jahr zu vermindern** (vgl. Kapitel 5.3.2).

Grundsätzlich ist zu beachten, dass es sich bei den geschätzten Bodenaufnahmemengen wie bei der Annahme zur Aufenthaltshäufigkeit (vgl. Kapitel 5.3.2) um Annahmen zur Modellierung der Schadstoffaufnahme aus Boden handelt, deren Anpassung sich in sinnhaften Grenzen bewegen muss. So wurde eine Kappungsgrenze festgesetzt, die besagt, dass die Abschätzungen zur aktuellen Bodenaufnahmemenge sowie zur Aufenthaltshäufigkeit durch Kinder eine Aufnahmemenge von **12 g Boden pro Jahr** nicht unterschreiten dürfen.

**Kappungs-  
grenzen  
beachten!**

Für die **aktuelle Nutzung** kann ein spezifischer **Expositionsquotient EQ<sub>BA</sub>** zur Berücksichtigung der nutzungsabhängigen Bodenaufnahmemenge für weitere Expositionsabschätzungen zur oralen Aufnahme wie folgt berechnet werden:

#### Gleichung 5: Expositionsquotient $EQ_{BA}$ für die Bodenaufnahmemenge

$$\text{Expositionsquotient } [EQ_{BA}] = \frac{\text{Bodenaufnahmemenge } \left[\frac{\text{g}}{\text{d}}\right]_{\text{aktuell}}}{\text{Bodenaufnahmemenge } \left[\frac{\text{g}}{\text{d}}\right]_{\text{Standardannahme Kinderspielfläche}}}$$

#### Beispiel: Expositionsquotient Bodenaufnahmemenge

Der Expositionsquotient für die Untersuchungsfläche des Beispiels in Tabelle 8 ergibt sich mit:

$$[EQ_{BA}] = \frac{\text{Bodenaufnahmemenge } \left[\frac{\text{g}}{\text{d}}\right]_{\text{aktuell}}}{\text{Bodenaufnahmemenge } \left[\frac{\text{g}}{\text{d}}\right]_{\text{Standardannahme Kinderspielfläche}}} = \frac{0,130 \frac{\text{g}}{\text{d}}}{0,5 \frac{\text{g}}{\text{d}}} = 0,26$$

Besteht aufgrund des Schadstoffspektrums für eine zugängliche Fläche Grund zur Annahme, dass bereits nach einmaliger Aufnahme hoher Mengen die Gefahr akut toxischer Wirkungen zu befürchten ist (vgl. Kapitel 3.3.2.1), sind keine weiteren Prüfschritte zur Betrachtung nutzungsabhängiger Expositionsbedingungen möglich. In dem Fall ist zur Abschätzung der Exposition von einer **einmaligen Bodenaufnahmemenge von 10 g** auszugehen (vgl. auch Anhang 3).

#### 5.3.2. Aufenthaltshäufigkeit und -dauer sensibler Nutzergruppen

Die langfristige Schadstoffaufnahme aus dem Boden wird durch die Aufenthaltshäufigkeit und -dauer bestimmt. In einem intensiv genutzten Hausgarten ist erwartungsgemäß von einer stärkeren Nutzungsintensität auszugehen als in einem kleinen Vorgarten. Das lässt sich näherungsweise durch die Nutzungsdauer (Stunden pro Tag bzw. Tage pro Jahr) beschreiben.

**Kleingärten** erfordern aufgrund ihrer Lage und spezifischen Nutzung eine gesonderte Betrachtung zur Aufenthaltshäufigkeit und -dauer.

Bei der Prüfwertableitung wurde generell als plausible Annahme zur Abschätzung der Bodenaufnahme durch Kinder beim Spielen eine Nutzungsfrequenz von 240 Tagen pro Jahr, unter Zugrundelegung einer Bodenaufnahmemenge von 0,5 g pro Spieltag (120 g Boden pro Jahr), angenommen. Für die Szenarien Wohngebiet sowie Park- und Freizeitanlagen werden entsprechend um den Faktor 2 (ggf.

**Akute  
Wirkung?**

**Kleingärten**

**Standard-  
annahmen**

120 Tage pro Jahr) bzw. 5 (ggf. 48 Tage pro Jahr) geringere Bodenaufnahmeraten angenommen.

Nach Auswertungen einer Studie zu Anbau- und Nutzungsgewohnheiten in Kleingärten in Nordrhein-Westfalen (vgl. LUA NRW 2001) halten sich in Kleingärten Kinder im Alter von 0-8 Jahren (n = 55)<sup>15</sup> im Mittel rund 125 Tage pro Jahr auf, Erwachsene im Alter von 21 bis 75 Jahren (n = 791) dagegen 187 Tage. Die entsprechenden **95. Perzentile** liegen bei **213 bzw. 364 Tagen pro Jahr**. Der nach BBodSchV vorgegebene **Standard von 240 Tagen pro Jahr** erscheint eher konservativ. Zur Abschätzung aktueller, nutzungsabhängiger Expositionsbedingungen in Kleingärten können daher ggf. auch weitergehende Überlegungen zur standortspezifischen Expositionshäufigkeit integriert werden.

Beispielsweise können Befragungen oder Erhebungen durchgeführt und ausgewertet werden. Hierbei ist die Belastbarkeit der Aussagen gutachterlich zu prüfen und einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen. In Befragungen muss bedacht werden, dass die Aussagen von Betroffenen oft durch "Wunschvorstellungen" überlagert sind (beispielsweise Spielverhalten der Kinder im Hausgarten).

Bei der Ermittlung und Anpassung der aktuellen Aufenthaltshäufigkeit ist darauf zu achten, dass die Annahmen für eine Nutzung als "Park- und Freizeitanlage" nicht deutlich (um mehr als die Hälfte) unterschritten werden. Konkret bedeutet dies, dass durch die Kombination der Bodenaufnahme (0,1 bis 0,5 g pro Tag) und der Aufenthaltshäufigkeit (48 bis 240 Tagen pro Jahr) eine **Bodenaufnahmemenge von 12 g pro Jahr** i.d.R. nicht unterschritten werden soll. Ausnahmen können nur bei Vorliegen weitergehender vertiefender und belastbarer Informationen für den Standort zu begründen sein, beispielsweise durch Erhebungen zum Spielverhalten von Kindern in bestimmten Siedlungsstrukturen oder bei besonderen Witterungsbedingungen.

**Erhebung  
von Daten**

**Kappungs-  
grenze  
beachten!**

---

<sup>15</sup> Eine weitere Differenzierung in verschiedene Altersgruppen war auf Grund der geringen Fallzahl nicht möglich, so dass diese Auswertungen nur begrenzt belastbare Aussagen für Kleinkinder (bis 2 Jahre) zulassen.

Wenn nachvollziehbar und belastbar begründet werden kann, dass die Aufenthaltshäufigkeit auf der Fläche von den Standardannahmen für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung abweicht, kann gemäß der Gleichung 6 ein **Expositionsquotient**  $EQ_{AH}$  berechnet werden:

**Gleichung 6: Expositionsquotient  $EQ_{AH}$  für die Aufenthaltshäufigkeit**

$$\text{Expositionsquotient } [EQ_{AH}] = \frac{\text{Aufenthaltshäufigkeit } \left[\frac{d}{a}\right]_{\text{aktuell}}}{\text{Aufenthaltshäufigkeit } \left[\frac{d}{a}\right]_{\text{Standardannahme Kinderspielfläche}}}$$

**Beispiel: Expositionsquotient Aufenthaltshäufigkeit**

Der Expositionsquotient  $EQ_{AH}$  für eine Untersuchungsfläche ergibt zum Beispiel:

$$EQ_{AH} = \frac{\text{Aufenthaltshäufigkeit } [d/a]_{\text{aktuell}}}{\text{Aufenthaltshäufigkeit } [d/a]_{\text{Standardannahme Kinderspielfläche}}} = \frac{125 \frac{d}{a}}{240 \frac{d}{a}} = 0,52$$

Insbesondere für die Betrachtung des inhalativen und dermalen, aber auch des oralen Aufnahmepfades wird standardgemäß die Aufenthaltsdauer am Tag [h/d] berücksichtigt. Auch hier sind Anpassungen begründet möglich.

**Gleichung 7: Expositionsquotient  $EQ_{AD}$  für die Aufenthaltsdauer**

$$\text{Expositionsquotient } [EQ_{AD}] = \frac{\text{Aufenthaltsdauer } \left[\frac{h}{d}\right]_{\text{aktuell}}}{\text{Aufenthaltsdauer } \left[\frac{h}{d}\right]_{\text{Standard Kinderspiel}}} = \frac{\text{Aufenthaltsdauer } \left[\frac{h}{d}\right]_{\text{aktuell}}}{2 \left[\frac{h}{d}\right]}$$

**5.3.3. Weitere Expositionsstandards**

Grundsätzlich können im Einzelfall auch noch weitere Standards zur Expositionsabschätzung vor dem Hintergrund der **aktuellen Nutzung** eines Standortes überprüft werden (vgl. Anhang 3). Hierfür sind **nachvollziehbare und belastbare Begründungen** gutachterlich darzulegen.

#### Beispiel: Atemrate

Als Beispiel sei die Atemrate genannt, die der Quantifizierung der inhalativen Boden- /Staubaufnahme dient und die alters- sowie aktivitätsabhängig ist. So wird für die Atemrate unterschieden zwischen ruhenden, leichten, mittelschweren und intensiven körperlichen Betätigungen (vgl. HEMPF-FLING & DOETSCH 1997; AGLMB 1995). Die der Prüfverbleitung für "Kinderspielflächen" zugrundeliegende Standardannahme von 15 m<sup>3</sup>/Tag entspricht dabei den Empfehlungen der AGLMB (1995) für die Atemrate von 4-6-Jährigen bei leichter Aktivität im "ungünstigen Fall" bei zeitlich begrenzter Exposition. Als "wahrscheinlicher Fall" wird die Atemrate mit 12 m<sup>3</sup>/Tag angegeben.

Für Sport- und Bolzplätze wird von einer mäßigen Aktivität ausgegangen, so dass dafür als Standard bei zeitlich begrenzter Exposition im "ungünstigen" Fall für 7-8 jährige Kinder eine Atemrate von 46 m<sup>3</sup>/Tag angenommen wurde (vgl. DELSCHEN et al. 2006).

Da im Rahmen von Einzelfallprüfungen Studien zur Festlegung der Atemrate mit Sicherheit nicht durchführbar sind, wäre abzuwägen, inwieweit Verschiebungen der Annahmen zur Atemrate vom "ungünstigen" zum wahrscheinlichen Fall zulässig sind, bzw. inwieweit aufgrund des Nutzungsangebotes vor Ort oder der Altersstruktur der Nutzenden (z.B. jüngere Kinder) weniger intensive Aktivitäten (und damit geringere Atemraten) zulässigerweise anzunehmen sind.

#### 5.4. Beurteilung des Wirkungspfad des Boden-Mensch

In der abschließenden Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch sind schließlich alle vorliegenden standortspezifischen Informationen zusammenzuführen.

Zunächst sind in Hinblick auf die Beurteilung der **sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung** die im Rahmen der Expositionsabschätzung abgeleiteten Beurteilungswerten (**BWs**) den Ergebnisse aus den Untersuchungen der **bodenabhängigen Expositionsbedingungen** gegenüberzustellen und gutachterlich zu würdigen (vgl. Kapitel 2.2 und Abbildung 1 sowie Kapitel 5.2.4 und Kapitel 5.2.5). Ergibt diese Prüfung eine Unterschreitung der BWs, gilt der **Gefahrenverdacht** für die zugrunde gelegte, sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung insoweit **ausgeräumt** und es werden keine Maßnahmen erforderlich.

Wird dagegen ein standortspezifisch abgeleiteter Beurteilungswert (BW) überschritten, gilt die Gefahr für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung als **festgestellt** und es können weitere Schritte zur **Prüfung der aktuellen Nutzung** sinnvoll sein.

Unter Berücksichtigung der ermittelten aktuellen **nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen** können **Expositionsquotienten (EQ)** errechnet und im Einzelfall **Beurteilungswerte BWA** für die **aktuelle Nutzung** abgeleitet werden (vgl. Kapitel 5.3.1 und 5.3.2).

**Zusammenführung aller Erkenntnisse**

Sind im Einzelfall keine Abweichungen zwischen der aktuellen und der sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung anzunehmen (vgl. Kapitel 5.3), ist der Expositionsquotient  $EQ = 1$  und  $BW_a$  entspricht  $BW_s$ .

Grundsätzlich sind der orale und der inhalative Aufnahmepfad getrennt zu betrachten.

**Gleichung 8: Beurteilungswert ( $BW_a$ ) für die aktuelle Nutzung (a) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, orale Aufnahme**

**aktuelle  
=  
planungsrechtlich  
zulässige  
Nutzung**

$$BW_{a_{RV}} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{EQ} = \frac{BW_{s_{RV}}}{EQ} \quad (\text{vgl. auch Gleichung 1})$$

oder

$$BW_{a_{\text{gesamt}}} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{f_{RV} * EQ} = \frac{BW_{s_{\text{gesamt}}}}{EQ} \quad (\text{vgl. auch Gleichung 2})$$

Mit:

$BW_{a_{RV}}$  [mg/kg] = Beurteilungswert für aktuelle Nutzung, bezogen auf gemessene resorptionsverfügbare Gehalte

$BW_{s_{RV}}$  [mg/kg] = Beurteilungswert für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung, bezogen auf gemessene resorptionsverfügbare Gehalte

$BW_{a_{\text{gesamt}}}$  [mg/kg] = Beurteilungswert für die aktuelle Nutzung, bezogen auf gemessene Gesamtgehalte

$f_{RV}$  [dim.los] = Faktor für Resorptionsverfügbarkeit (orale Aufnahme)

und:

$$EQ = EQ_{BA} * EQ_{AH}$$

$EQ_{BA}$  = Expositionsquotient in Bezug auf die Bodenaufnahmemenge (vgl. Gleichung 5)

$EQ_{AH}$  = Expositionsquotient in Bezug auf die Aufenthaltshäufigkeit (vgl. Gleichung 6)

**Orale  
Aufnahme**

Die Ergebnisbetrachtung kann alternativ erfolgen und orientiert sich daran, was als Bezugseinheit dienen soll. Häufig werden die Ergebnisse der Verfügbarkeitsuntersuchungen direkt mit Hilfe der  $BW_{a_{RV}}$  oder  $BW_{a_{\text{Feinkornfraktion}}}$  bewertet (Gleichung 8 und Gleichung 9). Eine Umrechnung der Beurteilungswerte zur Beurteilung der Gesamtgehalte ist in einfacher Weise mit Hilfe der Wirkungsfaktoren ( $f_{RV}$  oder  $f_{\text{Anreicherung}}$ ) möglich (vgl. Kapitel 5.2.4 und Kapitel 5.2.5).

**Gleichung 9: Beurteilungswert (B<sub>Wa</sub>) für die aktuelle Nutzung (a) für den Wirkungspfad Boden-Mensch, inhalative Aufnahme**

$B_{Wa_{\text{Feinkornfraktion}}} = \text{Prüfwert BBodSchV} * \text{Anreicherung 5 (bzw. 10 Organika)}$  (vgl. Gleichung 3)

$$B_{Wa_{\text{gesamt}}} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{f_{\text{Anreicherung}} * EQ} = \frac{B_{Ws_{\text{gesamt}}}}{EQ} \quad (\text{vgl. Gleichung 4})$$

Mit:

$B_{Wa_{\text{Feinkornfraktion}}}$  [mg/kg] = Beurteilungswert für aktuelle Nutzung, bezogen auf gemessene Gehalte in der Feinkornfraktion < 63 µm

$B_{Ws_{\text{Feinkornfraktion}}}$  [mg/kg] = Beurteilungswert für sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung, bezogen auf gemessene Gehalte in der Feinkornfraktion < 63 µm

$B_{Wa_{\text{gesamt}}}$  [mg/kg] = Beurteilungswert für die aktuelle Nutzung, bezogen auf gemessene Gesamtgehalte

$f_{\text{Anreicherung}}$  [dim.los] = Faktor für Anreicherung in der Feinkornfraktion < 63 µm (inhalative Aufnahme)

und:

$$EQ = EQ_{AH} * EQ_{AD}$$

$EQ_{AH}$  = Expositionsquotient in Bezug auf die Aufenthaltshäufigkeit (vgl. Gleichung 6)

$EQ_{AD}$  = Expositionsquotient in Bezug auf die Aufenthaltsdauer (vgl. Gleichung 7)

**Inhalative Aufnahme**

Die so ermittelten **Beurteilungswerte B<sub>Wa</sub>** unter Berücksichtigung der aktuellen Nutzung (die ggf. mit der sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung, s.o. identisch sein kann) entsprechen den **Maßnahmenwerten im konkreten Einzelfall** und dienen als Beurteilungsmaßstab für die erhobenen Messwerte. Dabei sind die jeweils relevanten Aufnahmepfade und Messmethoden zu berücksichtigen. Aspekte der Plausibilität sind genauso zu prüfen wie Überlegungen zu sinnvollen Ober- oder Kappungsgrenzen (s.o.).

**Plausibilitätsprüfung**

Damit wird entweder der **Gefahrenverdacht für die aktuelle Nutzung** insoweit **ausgeräumt** und es werden Schutz-/Beschränkungsmaßnahmen zur Festschreibung des Status Quo der aktuellen Nutzung notwendig, oder die Gefahr wird auch für die aktuelle Nutzung **festgestellt** und es werden weitergehende Maßnahmen erforderlich.

Im **Endergebnis** sind dann im Rahmen der abschließenden Gefährdungsabschätzung die Auswertungen für **alle relevanten Schadstoffe** für die untersuchte Fläche zusammenzuführen und aus bodenschutzrechtlicher Sicht festzustellen, ob der Gefahrenverdacht für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung

**Ergebnis**

für den Wirkungspfad Boden-Mensch insoweit ausgeräumt oder die Gefahr festgestellt wurde (vgl. *Abbildung 1*). Hierbei sind die relevanten Schadstoffe jeweils zu nennen. Analog sind die Ergebnisse auch für die aktuelle Nutzung zu formulieren (vgl. *Kapitel 2.2*).

Handelt es sich um eine Nutzung der Fläche als Haus- oder Kleingarten, sind parallel auch Auswertungen zum Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch erforderlich (vgl. *Kapitel 7*), die ggf. je nach Schadstoffinventar einer integrativen Betrachtung zu unterziehen sind (vgl. *Kapitel 9.1*).

**Beachtung  
weiterer  
Wirkungs-  
pfade**

**Kurz gesagt:**

**Zur Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch bestimmen die relevanten Aufnahmepfade die Methoden zur Prüfung der Expositionsbedingungen. Steht der orale Aufnahmepfad im Vordergrund der Bewertung, kann die Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit die bodenabhängigen Expositionsbedingungen konkretisieren, für inhalativ wirksame Schadstoffe bilden dagegen Untersuchungen der Feinkornfraktion < 63 µm den humantoxikologisch relevanten Schadstoffgehalt im Boden ab. Mit Hilfe dieser Ergebnisse ist dann die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung am untersuchten Standort abschließend zu beurteilen. Ist der Gefahrenverdacht nicht auszuräumen, kann ggf. die aktuelle Nutzung betrachtet und nutzungsabhängige Expositionsbedingungen, wie Informationen zur Zugänglichkeit des Bodens zur Bestimmung der Bodenaufnahme, oder Angaben zur Expositionshäufigkeit und -dauer erhoben und bewertet werden. Grundsätzlich sind die Ergebnisse Plausibilitätsprüfungen zu unterziehen und abschließend gutachterlich zu betrachten. Dabei sind vor dem Hintergrund der Praktikabilität Obergrenzen zu beachten, die nutzungsbedingt die Beurteilungswerte in doppelter Höhe der "Park- und Freizeitanlagen" nicht überschreiten sollten.**

**Im Falle von Schadstoffen mit akuter Wirkung sind i.d.R. vor einer Expositionsabschätzung Sofortmaßnahmen zu prüfen. Im Falle von Nutzungsszenarien mit wechselnden Nutzenden oder Nutzungsstrukturen (Kinderspielflächen, Park- und Freizeitanlagen) sollte von einer Prüfung der aktuellen Nutzung abgesehen werden. Im Fall der Nutzung einer Fläche als Haus- oder Kleingarten sind parallele Prüfungen zum Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch erforderlich, die ggf. in Abhängigkeit vom Schadstoff integrativ zu betrachten sind.**

## 6. Durchführung von Expositionsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch

***Für welche Stoffe ist dieser Wirkungspfad relevant?***

***Wie sind die Aufnahmewege?***

***Welche Untersuchungsstrategien sind geeignet?***

***Wie sind die Untersuchungen durchzuführen?***

***Wie werden die Ergebnisse für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch beurteilt?***

### 6.1. Grundlagen

Der Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch beschreibt die Möglichkeiten der Aufnahme von Schadstoffen, die sich im Boden über die Bodenluft ausbreiten. Als Bodenluft werden alle gasförmigen Stoffe im Untergrund bezeichnet, deren Eigenschaften durch ihre Flüchtigkeit (Dampfdruck  $\geq 1\text{kPa}$ ; vgl. LFU Bayern 2009) bestimmt werden.

***Flüchtigkeit***

#### **Wichtige Leichtflüchter**

Zur Gruppe der leichtflüchtigen organischen Verbindungen zählen typischerweise BTEX, LCKW, kurzkettige MKW sowie Naphthalin als flüchtige Einzelsubstanz aus der Gruppe der PAK.

Unter den anorganischen Schadstoffen sei an dieser Stelle auf das Quecksilber in elementarer oder organischer (als Dimethylquecksilber) Form verwiesen, welches aufgrund seiner Flüchtigkeit in die Gasphase übertritt. Weitere ggf. relevante leichtflüchtige Verbindungen sind Schwefelwasserstoff, Phosphorwasserstoff, Arsenwasserstoff und Ammoniak.

Eine spezielle Form der Bodenluft stellt das sogenannte Deponiegas dar, d. h. die in einer Deponie bzw. Altablagerung durch mikrobiellen Abbau entstehenden Gase mit den Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid (LFU BY 2009). Deponiegase sind nicht Gegenstand dieser Arbeitshilfe.

In der Bodenluft können sich flüchtige Stoffe ausgehend von der Schadstoffquelle in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Bodens ausbreiten. Wenn ein Austreten der Stoffe an der Bodenoberfläche und somit eine stetige Verdünnung erschwert ist, z. B. durch eine Bodenversiegelung, kann sich die Konzentration in der Bodenluft erhöhen. Durch Fugen, Risse oder Leitungszuführungen kann Bodenluft auch in Gebäude eindringen.

***Ausbreitung  
und  
Verdünnung***

Grundsätzlich können für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch zwei Aufnahmepfade für den Menschen differenziert werden:

- Einatmen von gasförmigen Schadstoffen aus der Außenluft (inhalative Aufnahme)
- Einatmen von gasförmigen Schadstoffen aus der Innenraumluft (inhalative Aufnahme)

**Inhalation  
gasförmiger  
Stoffe**

### 6.1.1. Aufnahme über die Außenluft

Grundsätzlich ist eine Aufnahme von Schadstoffen im freien Gelände über die bodennahe Außenluft zwar denkbar. Allerdings werden die aus dem Boden durch Diffusion austretenden flüchtigen Schadstoffe **sofort stark verdünnt** (Verdünnungsfaktor 10.000 und größer). Aufgrund dieser starken Verdünnung der Bodenluft in die Außenluft sind relevante Aufnahmemengen gasförmiger Schadstoffe im Freien erst bei sehr hohen Konzentrationen zu erwarten, so dass die Aufnahme über die Außenluft auch bei bodennah spielenden Kindern in der Regel nicht bewertungsrelevant ist (vgl. auch LABO 2008). Vorschläge zur Beurteilung atmosphärischer Luft finden sich bei LFULG 2019.

**Verdünnung  
der Bodenluft  
in die Außen-  
luft...**

**...i.d.R. keine  
Relevanz in  
der Außenluft**

Geringere Verdünnungsfaktoren sind bei offenen Baugruben oder Arbeiten, bei denen Erde durch kleinere Baumaßnahmen (Errichtung von Zäunen, Schuppen etc.) bewegt wird, anzunehmen. Hier können Personen unmittelbar während oder im Anschluss an die Erdbewegungen in Kontakt mit der Erde kommen, so dass bei flüchtigen Stoffen ggf. **hohe Belastungen innerhalb eines kurzen Zeitraumes** (etwa eine Stunde) nach den Erdbewegungen zu erwarten sind. Aufgrund der kurzen Expositionsdauer ist dieses Szenario für chronisch toxische Endpunkte nicht bewertungsrelevant.

**geringe  
Verdünnungs-  
faktoren  
in Baugruben!**

Als Standard zur Abschätzung akuter Expositionsmöglichkeiten gegenüber flüchtigen **Stoffen mit akuter Wirkung** (beispielsweise Kampfstoffe wie S-Lost) wurde ein Verdünnungsfaktor Bodenluft-Außenluft von 100 angenommen (UBA 1999ff). In der Praxis führen diese Annahmen jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit in einer Vielzahl von Situationen zu einer deutlichen Überschätzung, so dass bei konkreten Eingriffen in den Boden eine messtechnische Überwachung empfohlen wird (UBA 1999ff, LFU BY 2009).

**Akute  
Wirkung?**

### 6.1.2. Aufnahme über die Innenraumluft

Sind Wohn- oder Industriegebäude im Umfeld einer Schadstoffquelle vorhanden, können flüchtige Schadstoffe über Prozesse der Diffusion und Konvektion (Advektion) aus der Bodenluft über Risse und andere Wegsamkeiten in Gebäude eindringen und sich in der Innenraumluft anreichern. Diese Anreicherung ist von der Luftwechselzahl der jeweiligen Räume abhängig und bei festen ggf. unterkellerten Gebäuden wesentlich höher als bei Bauwerke oder Errichtungen mit hoher Luftwechselzahl, wie Hallen, Gewächshäusern, Gartenlauben oder Zelten.

**Gebäudebestand**

Über die Innenraumluft können die Schadstoffe beim Nutzen der Gebäude eingeatmet und aufgenommen werden – näheres siehe Anhang 3, Kapitel 2.2.2.1. Je nach Lage der Räume (Keller, Parterre oder Obergeschoss), Zustand der Bausubstanz und Lüftungsverhalten kommt es dabei zu einer **Verdünnung** gegenüber der Bodenluftkonzentration um Größenordnungen, die durch Konventionsannahmen beschrieben werden kann.

**Lage und Zustand**

Im Rahmen der Prüfung **bodenabhängiger Expositionsbedingungen** ist das Transmissionspotenzial zu untersuchen, das den Schadstofftransport im Boden abschätzen lässt und das wesentlich von der **Gasdurchlässigkeit** des Bodens sowie der Lage der **Kontaminationsquelle** abhängt. Hierzu werden i.d.R. Untersuchungen direkt in der Bodenluft durchgeführt (vgl. Kapitel 6.2.2).

**Untersuchung der Bodenluft...**

Zur Prüfung der **nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen** (vgl. Kapitel 6.3) sind die Wegsamkeit für die Bodenluft ins Gebäude (beispielsweise Durchlässigkeit des Bodens oder Entfernung zur Schadstoffquelle) sowie die Nutzung und der Zustand der Gebäude selbst zu betrachten.

**Abschätzung des Schadstoffübergangs**

Liegen **Hinweise auf Kontaminationen** der Innenraumluft vor, sollten diese durch Innenraumluftmessungen überprüft werden (vgl. Kapitel 6.4 sowie MantelIV/BBodSchV).

**Innenraumluftmessungen**

Wenn (im Ausnahmefall) Innenraumluftmessungen bereits vorliegen, kann umgekehrt die Bodenluftuntersuchung ein Baustein bei der Ursachenermittlung der Innenraumluftbelastung sein.

## 6.2. Ermittlung bodenabhängiger Expositionsbedingungen

Umfasst das Schadstoffspektrum auf der zu betrachtenden Fläche flüchtige Schadstoffe und steht **aktuell ein Gebäude** oder Bauwerk **auf oder neben der Fläche**, das durch Menschen genutzt wird, sind im Rahmen der Detailuntersuchung ggf. Untersuchungen zur möglichen Ausbreitung der Schadstoffe im Boden erforderlich, sofern diese nicht bereits innerhalb der orientierenden Untersuchung durchgeführt wurden. Gleiches gilt, wenn eine Bebauung der Fläche oder eine Bebauung in **direkter Nachbarschaft** planungsrechtlich zulässig ist. Zu beachten ist, dass aufgrund der Ausbreitung der Schadstoffe in der Bodenluft eine Untersuchung und Bewertung **über die Grundstücksgrenze** der altlastverdächtigen Fläche hinaus notwendig sein kann.

Die Verteilung der Stoffe im Drei-Phasen-System Boden/Bodenluft/Bodenwasser wird erheblich von bodenphysikalischen Kenngrößen wie Wassergehalt, Porenform und -größe bzw. Porenvolumen sowie von meteorologischen Bedingungen beeinflusst. Auch eine mögliche Ausgasung von Leichtflüchtern aus dem Grundwasser kann relevant werden. Daher kommt sowohl den im Bodenfeststoff (vgl. Kapitel 6.2.1) als auch den in der Bodenluft (vgl. Kapitel 6.2.2) gemessenen Schadstoffgehalten bzw. -konzentrationen nur ein orientierender Charakter zu.

### 6.2.1. Gehalte im Bodenfeststoff

Gehalte im Bodenfeststoff werden i.d.R. im Rahmen der orientierenden Untersuchung bestimmt und ausgewertet. Für leicht flüchtige Schadstoffe dienen sie der räumlichen Eingrenzung des Kontaminationsherdes (vgl. Abbildung 1).

Sind die Ergebnisse nicht ausreichend, sind ggf. weitere Proben zu entnehmen, wobei zu berücksichtigen ist, dass das entnommene Probenmaterial möglichst repräsentativ für den zu bewertenden Bodenbereich sein muss (vgl. LABO 2008). Für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch bedeutet dies, dass das Bodenmaterial aus dem relevanten Kontaminationsbereich entnommen werden sollte, aus dem der Übertritt über die Bodenluft in die Innenraumluft wahrscheinlich ist.

**Bodenmaterial aus der üblichen Beprobungstiefe aus dem oberen Bodenneter ist für eine Bewertung in der Regel ungeeignet.**

**Ausbreitung  
flüchtiger  
Schadstoffe  
in Gebäude  
oder  
Bauwerke**

**Ausgangspunkt  
Feststoffgehalte**

**ACHTUNG!**

**Probennahme-  
tiefe beachten!**

Daraus folgt, dass die Probennahmetiefe notwendigerweise von den in Tabelle 1, Anhang 1 der BBodSchV (MantelV/BBodSchV Anlage 3, Tabelle 3) aufgeführten abweicht (vgl. auch Kapitel 10.1). Aus dem Expositionsszenario ergibt sich als Ort der Probennahme der Nahbereich des Bodens zum betrachteten Gebäude, aus dem der Übertritt von Bodenluft in Innenraumluft wahrscheinlich ist und i.d.R. einer Tiefe von 2 - 2,5 m unter GOK (Kellersohle) entspricht (LABO 2017). Zur Abschätzung des Gesamtpotenzials auch in Hinblick auf die planungsrechtlich zulässige Nutzung ist der Kontaminationsschwerpunkt ggf. gesondert zu beproben.

Zur Interpretation der Ergebnisse kann auf die orientierenden **Hinweise auf Prüfwerte der LABO (2008)** zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 4.1.2) bzw. sind entsprechende Werte gemäß der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161 a, s. BBodSchVa (1999), ergänzt in UBA (1999ff) (vgl. Kapitel 4.1.3) abzuleiten.

**Hinweise auf  
Prüfwerte der  
LABO  
Beurteilung der  
Ergebnisse**

Eine Prüfung **standortspezifischer Rahmenbedingungen** für Leichtflüchter, (wie z. B. die Ermittlung von **Kas-Werten** (Boden-Bodenluft-Verteilungskoeffizienten) ist nicht sinnvoll, da die weiteren Ableitungsbedingungen zu stark pauschalierten Werten führen. Bei auffälligen Feststoffgehalten sind Bodenluft- und/oder Innenraumluftmessungen durchzuführen.

### 6.2.2. Konzentrationen in der Bodenluft

Bodenluftmessungen liegen bei Kenntnis des Schadstoffinventars i.d.R. für flüchtige Stoffe bereits aus der orientierenden Untersuchung vor und können zur Auswertung herangezogen werden.

**Bodenluftmes-  
sungen aus  
der OU**

Die Durchführung von (weiteren) Bodenluftmessungen kann jedoch erforderlich werden, wenn bisher keine entsprechenden Messungen durchgeführt wurden, jedoch Hinweise auf Leichtflüchter aus anderen Messungen vorliegen oder Wiederholungsmessungen angezeigt sind.

Bodenluft ist nur für einen begrenzten zeitlichen und räumlichen Bereich repräsentativ, so dass bei der Bewertung zeitliche, räumliche und durch das Entnahmeverfahren bedingte Schwankungen der Schadstoffkonzentration in der Bodenluft zu berücksichtigen sind. Grundsätzlich wird daher empfohlen, die Bewertung von Bodenluft nicht an ein einzelnes Messdatum zu knüpfen, sondern aufgrund

**Wieder-  
holungs-  
messungen**

möglicher witterungsbedingter Einflüsse zumindest zwei, besser drei Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchzuführen.

Stationäre Bodenluftmessstellen sind daher temporären Bohrlochmessungen in jedem Fall vorzuziehen. Variieren die Bodenverhältnisse im bewertungsrelevanten Bereich stark, sind ggf. an mehreren Stellen Messungen erforderlich. Sinnvoll ist dies insbesondere in lockerem Gestein, während bei tonig schluffigen Böden keine wesentliche Ausbreitung zu erwarten ist.

Wichtig ist eine Probennahme von Bodenluft aus dem bewertungsrelevanten Bereich. Die Probennahme muss darüber hinaus mindestens 1 m unter GOK und oberhalb des Kapillarsaums des Grundwassers erfolgen, um einen Einfluss atmosphärischer Luft bzw. des Grundwassers auszuschließen. Aus dem Expositionsszenario ergibt sich als Ort der Probennahme der Nahbereich des Bodens zum betrachteten Gebäude, der für den Übertritt von Bodenluft in Innenraumluft relevant ist und i.d.R. einer Tiefe von 2-2,5 m unter GOK (Kellersohle) entspricht (LABO 2017). Zur Abschätzung des Gesamtpotenzials auch in Hinblick auf die planungsrechtlich zulässige Nutzung ist der Kontaminationsschwerpunkt ggf. gesondert zu beproben.

Bodenproben aus dem oberen Bodenmeter oder den in der Verordnung für den Wirkungspfad Boden-Mensch genannten Tiefenstufen 0-10 cm und 10-35 cm sind für die Fragestellung nicht relevant, da flüchtige Verbindungen in dieser Bodentiefe großteils abgereichert sind (LABO 2017). Weitere Hinweise zur Probenahme sind auch *Anhang 3* zu entnehmen.

Zur Beurteilung der vorgefundenen Konzentrationen sind die **orientierenden Hinweise für flüchtige Stoffe in der Bodenluft** der LABO (2008) heranzuziehen (*vgl. Kapitel 4.1.2*).

Die dort festgelegten Orientierungswerte sind insbesondere zur Bewertung festgestellter Belastungen und Auslösung der in § 3 Abs. 6 BBodSchV (MantelV/BBodSchV) aufgeführten Maßnahmen (Innenraumluftmessungen) geeignet. Das Risiko falsch negativer Befunde ist im Einzelfall abzuschätzen, und entlastende Aussagen sind entsprechend (gut) zu begründen. In der Regel sind dazu auch Untersuchungen anderer Medien notwendig.

**Verbesserung  
der Aussage-  
fähigkeit**

**ACHTUNG!**  
**Probennahme-  
tiefe beachten!**

**Beurteilung  
der  
Ergebnisse**

## Gerüche

Flüchtige Stoffe können geruchliche Wahrnehmungen hervorrufen, die zwar keinen anerkannten toxischen Wirkungsendpunkt darstellen, die jedoch Befinden, Verhalten und Leistungen beeinträchtigen können (IRK-UBA 2014).

Bei der Ableitung der orientierenden Hinweise für flüchtige Stoffe in der Bodenluft wurden Geruchsschwellen berücksichtigt, die nach DIN 13725 ermittelt wurden. Bei Überschreitung der oberen Konzentrationsschwellen für Stoffe, die als geruchlich problematisch eingestuft sind, wird empfohlen, die Bewertung solcher potenziellen Belästigungen bezüglich ihrer Erheblichkeit mit den zuständigen Gesundheitsbehörden abzustimmen (LABO 2008).

Von der Innenraumluft-Kommission des UBA wurde ein Konzept zur gesundheitlich-hygienischen Bewertung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft vorgelegt, das die Ableitung sogenannter Geruchsleitwerte beinhaltet, mit dem Ziel, geringe von unzumutbaren, erheblichen geruchlichen Belästigungen zu unterscheiden (IRK-UBA 2014).

### 6.3. Ermittlung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen

Wurden im Umfeld von Gebäuden auffällige Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft bzw. erhöhte Konzentrationen an Deponiegasen gemessen (vgl. Kapitel 6.1), ist es möglich, auf Basis von Verdünnungsfaktoren abzuschätzen, in welcher Größenordnung Konzentrationen in der Innenraumluft angrenzender Gebäude zu erwarten sind. Standardgemäß wird für die Ableitung der Prüfwerte der Transfer von der Bodenluft in die Innenraumluft mit einem Verdünnungsfaktor von 1.000 abgeschätzt (vgl. UBA 1999ff).

#### 6.3.1. Art und Zustand des Gebäudes

Der Transfer von Schadstoffen aus der Bodenluft in Gebäude hinein wird im Wesentlichen durch den Zustand des Gebäudes sowie Gebäudecharakteristika bestimmt. Diese Aspekte sind im Rahmen von Begehungen zu überprüfen sowie kartografisch bzw. fotografisch zu dokumentieren. Hier ist insbesondere auf Wegsamkeiten für die Bodenluft zu achten, wie beispielsweise Rohranschlüsse, Fugen, Risse an der Gebäudeaußenwand, in Kellerräumen oder Souterrainwohnungen.

Sind Gebäude betroffen, die in einem schlechten Zustand angetroffen werden, oder liegt die Schadstoffquelle in deutlicher Entfernung zum betroffenen Gebäude, kann von den Standardannahmen zum Transferverhalten in Richtung geringerer oder höherer Verdünnung abgewichen werden (vgl. Anhang 3). Darüber hinaus können aber auch standortspezifische Eigenschaften des Bodens oder

**Verdünnung  
Bodenluft-Innenraumluft  
1.000**

**Überprüfung  
der  
Wegsamkeiten**

**Anpassung  
der Verdünnungsfaktoren**

Witterungsbedingungen Einfluss nehmen, so dass die Anwendung der Verdünnungsfaktoren immer auch gutachterlich zu begründen und zu diskutieren ist.

### 6.3.2. Gebäudenutzung

Zur Ableitung der Prüfwerte für das Szenario "**Wohngebiet**" bzw. **Wohngebäude** in Hinblick auf leichtflüchtige Schadstoffe, die aus der Bodenluft in die Innenraumluft gelangen, wird angenommen, dass die sensibelste Nutzergruppe der **Kleinkinder** im Alter von 1-3 Jahren und einem Körpergewicht von 10 kg im ungünstigen Fall ganztägig, d.h. **24 Stunden pro Tag** der Innenraumluft ausgesetzt ist und dabei ein Atemvolumen von 7 m<sup>3</sup> pro Tag anzunehmen ist. Bei kanzerogenen Stoffen wird eine lebenslange Exposition von 70 Jahren und eine Atemrate von 0,39 m<sup>3</sup> pro kg KG\*d unterstellt (UBA 1999ff; *vgl. Anhang 3*).

**Standard-  
annahmen**

Für **Industrie- und Gewerbegrundstücke** wird davon ausgegangen, dass nur Erwachsene als Nutzergruppe in Betracht zu ziehen sind, mit einer Atemrate von 20 m<sup>3</sup> pro Tag. Allerdings wird die Aufenthaltsdauer mit Hilfe eines Gewichtungsfaktors üblichen Arbeitszeiten angepasst. So wird von einer 40-Stunden-Woche an 45 Wochen pro Jahr ausgegangen. Für kanzerogene Stoffe wird unterschieden in eine Arbeitszeit von 20 und 40 Jahren. Daraus ergeben sich Gewichtungsfaktoren Z von 4,85 bzw. 17 und 8,5 (UBA 1999ff; *vgl. Anhang 3*).

**Gewichtungs-  
faktor Z**

Zur Abschätzung der Expositionsbedingungen hinsichtlich einer inhalativen Aufnahme flüchtiger Schadstoffe sind die betroffenen Räume zu beschreiben und bezüglich ihrer Nutzung zu charakterisieren. Dies erfolgt üblicherweise im Rahmen der Ortsbesichtigung, die mit Hilfe von Fotos und Begehungsprotokollen dokumentiert wird. Zur Quantifizierung möglicher Expositionen von Bewohnenden der betroffenen Gebäude können Annahmen hinsichtlich der Raumnutzung getroffen werden.

**aktuelle  
Raumnutzung**

Gibt es beispielsweise Hinweise darauf, dass in Hinblick auf die **aktuelle Raumnutzung** begründet von den Standardannahmen abgewichen werden kann, z.B. im Falle von Lagerräumen, die aktuell nur gelegentlich von Erwachsenen kurz betreten werden, können Aufenthaltszeiten für die aktuelle Raumnutzung berücksichtigt und Beurteilungswerte für die Bodenluft für die aktuelle Nutzung begründet werden (*vgl. Anhang 3*).

## 6.4. Innenraumlufmessungen

Nach § 3, Abs. 6 BBodSchV soll eine Untersuchung der Innenraumluft erfolgen, wenn aufgrund der örtlichen Gegebenheiten oder nach den Ergebnissen von Bodenluftuntersuchungen **Anhaltspunkte** für die Ausbreitung von flüchtigen Schadstoffen aus einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche in Gebäude bestehen. Nach Baurecht, in Form der jeweiligen Landesbauordnung, darf von einer baulichen Anlage keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit ausgehen. Soweit es sich um Arbeitsplätze in Innenräumen handelt, die nicht gefahrstoffrechtlichen Regelungen unterliegen, muss gemäß Arbeitsstätten-Verordnung ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein (AIR 2015).

**Anhaltspunkte  
für die  
Ausbreitung  
flüchtiger  
Schadstoffe**

Hieraus leitet sich sowohl für öffentlich als auch für privat genutzte Räume das Erfordernis ab, bei Hinweisen auf **Schadstoffbelastungen im Boden**, für die ein Transfer aus dem Boden in die Innenraumluft wahrscheinlich ist (vgl. Kapitel 6.3.1), Innenraumluftuntersuchungen durchzuführen. Hierbei gilt es allerdings zu berücksichtigen, dass als Schadstoffquelle neben der Bodenluft auch Ausdünstungen aus Farben, Lacken, Kunststoffen, Möbeln, Teppichböden, Klimaanlage etc. in Frage kommen können.

**Schadstoff-  
quellen**

Zuständigkeiten und Befugnisse bezüglich der Durchführung von Innenraumlufmessungen sind in den Bundesländern teils unterschiedlich geregelt.

**Zuständigkeiten  
und  
Anforderungen**

Zur Erhebung und Beurteilung von Innenraumlufkonzentrationen hat die Ad-hoc Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden 2007<sup>16</sup> (heute: Ausschuss für Innenraumluftrichtwerte AIR) eine Handreichung veröffentlicht, in der Anforderungen an Innenraumlufmessungen und Messstrategien formuliert sowie das Vorgehen zur Beurteilung von Schadstoffen in der Innenraumluf beschrieben sind (vgl. hierzu Anhang 3).

---

<sup>16</sup> online: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/Handreichung.pdf>

Für eine Reihe von Schadstoffen wurden bereits sogenannte **Richtwerte** abgeleitet. Eine Übersicht findet sich auf der Website des Umweltbundesamtes<sup>17</sup>. Die genannten Richtwerte (Richtwert I und Richtwert II)<sup>18</sup> sind in der Regel gemäß eines **Basisschemas** abgeleitet und begründet (vgl. IRK-UBA 1996, sowie Fortschreibung IRK-UBA 2012 und AIR 2015). Dieses aktualisierte Basisschema des AIR ist auch anzuwenden, wenn für einen Schadstoff keine Richtwerte für die Innenraumluft vorliegen.

*Auswertung  
der  
Innenraumluft-  
messungen...*

*...Richtwerte  
der AIR  
(ehemals IRK)*

#### **Kanzerogene in der Innenraumluft**

Für kanzerogen wirkende Stoffe galt bis 2010 aus Sicht der IRK grundsätzlich das Minimierungsgebot. Mit der Veröffentlichung der IRK-UBA 2012 sollten dann jedoch auch für Kanzerogene der Kategorie 2 (nach CLP-VO) bei Vorliegen eines Wirkungsmechanismus, der einen Schwellenwert für den empfindlichsten toxischen Endpunkt begründet, Richtwerte abgeleitet werden. 2015 wurde dann das Bewertungskonzept auf alle Kanzerogene der Kategorien 1A, 1B und 2 erweitert und Modelle zur Risikoabschätzung beschrieben (AIR 2015).

Grundsätzlich beurteilt das Umweltbundesamt nur solche kanzerogenen Stoffe, für die eine Einstufung als krebserzeugend vorliegt und die in der Innenraumluft nachgewiesen sind. Das Vorkommen von Stoffen in der Innenraumluft soll dazu durch möglichst bundesweit repräsentativ erhobene Daten (z.B. Umwelt-Survey) abgebildet und durch Referenzwerte (50. und 95. Perzentil) quantifiziert werden. Durch Abgleich des toxikologisch ermittelten Krebsrisikos einer Substanz in der Innenraumluft und dem (bundesweit erhobenen) Referenzwert dieses Stoffes in der Innenraumluft werden schließlich Leitwerte abgeleitet. Während die risikobezogenen Leitwerte mit einem theoretischen Krebsrisiko von  $10^{-6}$  verbunden sind, stellt der vorläufige Leitwert einen technischen Wert dar, bestimmt durch den Referenzwert (95. Perzentil).

---

<sup>17</sup> online: ([https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/bilder/dateien/0\\_ausschuss\\_fuer\\_innenraumrichtwerte\\_empfehlungen\\_und\\_richtwerte\\_20190128\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/bilder/dateien/0_ausschuss_fuer_innenraumrichtwerte_empfehlungen_und_richtwerte_20190128_0.pdf))

<sup>18</sup> Der Richtwert II stellt einen wirkungsbezogen begründeten Wert dar, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkschwelle eines Stoffes (lowest observed adverse concentration level LOAEC) unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er definiert danach die Konzentration eines Stoffes, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine gesundheitliche Gefährdung darzustellen.

Der Richtwert I (RW I) wird definiert als die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden.

## 6.5. Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Bodenluft-Mensch

Für die Betrachtung der **sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung** ist für flüchtige Stoffe die vorhandene oder planungsrechtlich zulässige **wohnbauliche Nutzung** relevant.

Hat sich der Verdacht eines Schadstoffeintrages aus der Bodenluft in Innenräume durch Innenraumluftmessungen bestätigt, gilt die Gefahr durch schädliche Bodenveränderungen als festgestellt, und es werden Maßnahmen zur Gefahrenabwehr notwendig.

**Im Einzelfall** kann die **aktuelle Nutzung** von der planungsrechtlich zulässigen Nutzung insofern **abweichen**, dass eine weniger sensible Nutzung (beispielsweise Lagerräume etc.) vorliegt, so dass ggf. die Gefahr für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung zwar festgestellt wurde, der Gefahrenverdacht für die aktuelle Nutzung ggf. aufgrund der weniger sensiblen Gebäudenutzung insoweit ausgeräumt wurde.

Unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit sind nach IRK-UBA (2007) im Konzentrationsbereich zwischen **RW I und RW II in der Innenraumluft** zunächst keine baulichen oder sonstigen quellenbezogenen Veränderungen vorzunehmen, sondern es ist vor allem verstärkt zu lüften und einzelfallbezogen verstärkt zu reinigen.

Wenn jedoch trotz nachweisbar intensiveren Lüftens eine Kontrollmessung nach einer gewissen Zeit (in der Regel nach einem Monat) keine erkennbare Verbesserung der Luftqualität anzeigt und der Richtwert I nach wie vor überschritten wird, sind in einem zweiten Schritt auch für Konzentrationen im Bereich zwischen RW I und RW II weitergehende, gegebenenfalls auch bauliche Maßnahmen zu empfehlen, da eine über einen längeren Zeitraum (> 12 Monate) erhöhte Belastung aus Gründen der Vorsorge nicht akzeptabel ist.

Grundsätzlich müssen die Ursachen für nachgewiesene Innenraumluftbelastungen geklärt und ggf. die Schadstoffquelle im Boden identifiziert werden.

*Klärung der Ursachen*

*und Schadstoffquellen*

Darüber hinaus empfiehlt es sich, den Gebäudezustand durch Bausachverständige überprüfen zu lassen. Ziel ist es dabei, offensichtliche bauliche und technische Mängel festzustellen, die für den Schadstoffeintrag aus der Bodenluft in Innenräume verantwortlich sein können.

**Kurz gesagt:**

***Eine Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch ist dann erforderlich, wenn das Stoffinventar auch flüchtige Schadstoffe enthält, für die anzunehmen ist, dass diese sich über die Bodenluft in nahestehende Gebäude oder Räume ausbreiten können. Bodenluftmessungen können erste Anhaltspunkte dafür liefern, wobei die Aussagekraft von Bodenluftmessungen von verschiedenen Aspekten, wie Witterungsbedingungen, Position der Probennahmestelle etc. abhängt und stets auf Mehrfachmessungen beruhen sollte.***

***Liegen Hinweise für erhöhte Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft vor, können zur Prüfung der aktuellen, nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen Informationen zum Gebäudezustand oder zur Gebäudenutzung erhoben und ausgewertet werden. Letztlich sind jedoch Innenraumlufmessungen zu planen, durchzuführen und auszuwerten, mit dem Ziel, Innenraumluftbelastungen auszuschließen oder Ursachen dafür zu klären und ggf. die Schadstoffquelle im Boden zu identifizieren.***

## 7. Durchführung von Expositionsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch

*Welche Nutzung wird betrachtet?*

*Wie gelangen Schadstoffe in Nutzpflanzen?*

*Welche Nutzpflanzen reichern Schadstoffe an?*

*Welche Untersuchungsmethoden sind zur Expositionsabschätzung geeignet?*

*Welchen Einfluss haben Anbau- und Verzehrsgewohnheiten?*

*Wie werden die Ergebnisse für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch beurteilt?*

### 7.1. Grundlagen

Der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch beschreibt die mögliche Schadstoffaufnahme des Menschen durch den **Verzehr von Gemüse und Obst**, das auf schadstoffbelasteten Flächen (Gärten) angebaut wird (vgl. Kapitel 4.2). Hier von zu unterscheiden sind Flächen, bei denen die Beurteilung des Bodens auf die Sicherstellung der Vermarktungsfähigkeit landwirtschaftlicher Produkte (Ackerbau, Erwerbsgartenbau) oder die Verwertbarkeit der produzierten Futterpflanzen in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (Grünland) abzielt. Hierzu wird auf die Empfehlungen des Landesumweltamtes Brandenburg verwiesen (LUA BB 2003, LUA BB 2010).

Für **reine Nutzgärten** wird angenommen, dass diese eine entsprechende Anbaufläche aufweisen und ausschließlich dem privaten Anbau von Nutzpflanzen dienen. Eine Unterscheidung in aktuelle und sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung ist bei der Bewertung eines Gartens, in dem nur Nutzpflanzen angebaut werden und der Aufenthalt spielender Kinder weitestgehend ausgeschlossen ist, kaum von Belang.

Flächen, auf denen der Anbau von Nahrungspflanzen zum Eigenverzehr lediglich eine Teilnutzung darstellt, sind dem **Szenario "Haus- und Kleingarten"** zuzuordnen. Da solche Gärten zusätzlich als Aufenthaltsbereich für spielende Kinder dienen können, sollte eine integrative Betrachtung des Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch in Verbindung mit dem Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad) durchgeführt werden (vgl. Kapitel 9.1).

*Privater Obst- und Gemüseanbau*

*NICHT:  
Erwerbsgartenbau  
/Ackerbau*

*Sonderfall:  
  
reine  
Nutzgärten*

*Nutzpflanzenanbau als Teilnutzung*

In diesen Fällen sollte die Ermittlung der nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen zusätzlich zur oralen Bodenaufnahme um den Aspekt der Schadstoffaufnahme über Obst- und Gemüseverzehr erweitert werden (vgl. Kapitel 7.3). Entsprechende Überlegungen sind auch bei aktuell neu erkennbaren Entwicklungen wie dem Urban Gardening (vgl. Kapitel 9.2.1) anzustellen.

**Integrative Betrachtung oraler Aufnahmepfade**

Die Betrachtung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze-Mensch ist sinnvollerweise zu unterteilen in:

- den Transfer des Schadstoffes aus dem Boden der Anbaufläche in die Nutzpflanze (Schadstofftransfer Boden-Nutzpflanze)
- die Schadstoffaufnahme des Menschen durch den Verzehr der dort angebauten Nutzpflanzen (Gemüse und Obst) (Schadstoffaufnahme Nutzpflanze-Mensch)

**Schadstofftransfer in die Nutzpflanze**

**und**

**Schadstoffaufnahme durch Verzehr**

Findet Nutzpflanzenanbau nur auf einer sehr kleinen Anbaufläche statt, ist davon auszugehen, dass die Schadstoffaufnahme aus entsprechend geringen Verzehrsmengen i.d.R. als nicht relevant anzusehen ist. In Ausnahmefällen können jedoch spezielle Anbaugewohnheiten (z.B. Anbau von Gemüse zur ausschließlichen Versorgung von Kleinkindern) oder sehr hohe Bodenbelastungen auch auf kleinen Flächen zur Aufnahme erheblicher Schadstoffmengen führen, so dass die Angabe einer Bagatellschwelle für Anbauflächen nicht pauschal möglich ist, sondern im Einzelfall aus fachlicher Sicht festzulegen ist.

**Bagatellgrenze für Anbauflächen?**

#### **Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze**

Die Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze haben im Kontext dieser Arbeitshilfe insbesondere den Schutz der menschlichen Gesundheit beim Verzehr von Obst und Gemüse aus dem Eigenanbau in Privatgärten zu gewährleisten. Darüber hinaus sollen sie die Vermarktungsfähigkeit von pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln aus der landwirtschaftlichen Produktion sicherstellen, wobei mit Blick auf Ertragsrückgänge auch phytotoxische Wirkungen bestimmter Schadstoffe in die Bewertung einbezogen wurden.

Soweit Datengrundlagen vorhanden sind, wurde bei der Prüfwertableitung anhand von Modellannahmen zum Verzehr von Obst und Gemüse aus Privatgärten überprüft, dass bei Unterschreiten der so entwickelten Prüfwerte eine gefahrlose Nutzung eines privaten Gartens zur Eigenversorgung mit Obst und Gemüse betrieben werden kann.

Bei Überschreitung von Prüfwerten kann diese Annahme anhand der Modelle zum Pflanzentransfer und zu Verzehrsgewohnheiten überprüft werden (siehe Anhang 3).

### 7.1.1. Schadstofftransfer Boden-Nutzpflanze

Pflanzen können Schadstoffe prinzipiell über drei verschiedene Teilpfade aus dem Boden aufnehmen (vgl. Abbildung 4):

- Aufnahme von gelösten Stoffen aus dem Bodenwasser über die Wurzeln und Verteilung der Substanzen in der Pflanze ("systemischer Pfad"; vorrangig z.B. bei Cadmium).
- Ablagerungen von Boden bzw. Staub auf der Pflanzenoberfläche und zum Teil Anlagerung bzw. Aufnahme über die Kutikula ("Verschmutzungspfad" oder/und Deposition; vorrangig z.B. bei Benzo(a)pyren).
- Aufnahme von Substanzen aus dem Boden über die bodennahe Atmosphäre in die Spaltöffnungen bzw. Kutikula der Blätter und Verteilung innerhalb des pflanzlichen Gewebes ("Gaspfad", z.B. bei PCB).

**Teilpfade**

**Systemischer Pfad**

**Verschmutzungspfad**

**Gaspfad**

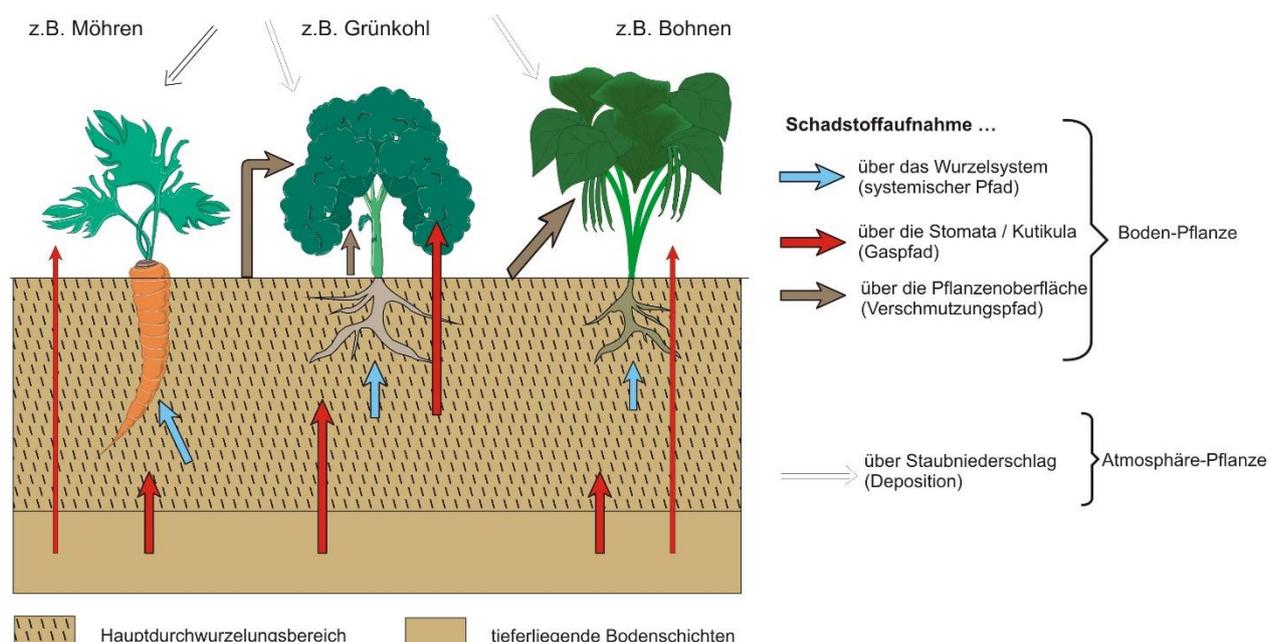


Abbildung 4: Schematische Darstellung der relevanten Teilpfade beim Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (LANUV 2014)

Je nach primär zu betrachtendem Aufnahmepfad und Schadstoff nehmen verschiedene Gemüsearten Schadstoffe in unterschiedlichem Maße auf. In der nachfolgenden *Tabelle 9* findet sich eine Zusammenfassung der Bedeutung der potenziellen Aufnahmepfade in Hinblick auf die Eigenschaften verschiedener Schadstoffe und Nutzpflanzen bzw. Charakteristika der verzehrbaren Pflanzenteile.

Die Exposition des Menschen gegenüber Schadstoffen in einem Nutzgarten wird danach neben dem Schadstoffgehalt im Boden insbesondere auch von den angebauten Pflanzenarten und -sorten, den Anbau-, Bearbeitungs- und Düngemethoden sowie vom Witterungsverlauf und Bodenzustand bestimmt.

**Tabelle 9: Regelannahmen für das Anreicherungsverhalten ausgewählter Schadstoffe über verschiedene Aufnahmepfade (nach LANUV 2014)**

	Boden-Pflanze			Atmosphäre-Pflanze
	Systemischer Pfad	Verschmutzungspfad	Gaspfad	Deposition
	Boden- und pflanzenbedingte Einflussfaktoren können im Einzelfall zu Abweichungen führen	Relevanz für Pflanzen mit großer und / oder schlecht zu reinigender Oberfläche bis ca. 40 cm über Geländeoberkante	Relevanz für Pflanzen mit großer Blattoberfläche bis 5 cm über Geländeoberkante	Zusätzliche Relevanz im Umfeld von Emissionsquellen für Pflanzen mit großer und / oder schlecht zu reinigender Oberfläche
zumeist in <b>geringem</b> Umfang relevant:	Blei Chrom Arsen Quecksilber BaP PCB	-	-	-
zumeist <b>mäßig relevant</b> :	Nickel Thallium	-	Quecksilber (elementar und organisch gebunden) PAK (2-3 Ringe) PCB (zumeist gering chlorierte)	-
<b>relevant</b> :	Cadmium	Arsen Blei Cadmium Chrom Nickel Quecksilber (anorg.) Thallium BaP PCB	-	Arsen Blei Cadmium Chrom Nickel Quecksilber (anorg.) Thallium BaP (höher kondensierte PAK) PCB

Die Aufnahme **immissionsbedingter Schadstoffe** aus der Atmosphäre (Deposition oder Schwebstaub) wird in dieser Arbeitshilfe nicht weiter thematisiert, muss jedoch ggf. einer gesonderten Betrachtung unterzogen werden, wenn Hinweise auf möglicherweise relevante Einträge z.B. aus Immissionsmessungen, Luftreinhalteplänen etc. vorliegen. Sofern Informationen über immissionsbedingte Hintergrundbelastungen von Pflanzen vorliegen, ist dies bei der Bewertung des Wirkungspfad des Boden-Nutzpflanze zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 9.2.3). Dieses

**Nicht  
betrachtet:**

**Immissionen**

ist insbesondere von Bedeutung, wenn in der Detailuntersuchung zur Beurteilung dieses Pfades Untersuchungen der Ernteprodukte in Erwägung gezogen werden.

Zur Ermittlung der **bodenabhängigen Expositionsbedingungen** können Untersuchungen zu den **pflanzenverfügbaren Schadstoffgehalten** im Boden (vgl. Kapitel 7.2.2) sowie zu **pflanzenverfügbarkeitsbestimmenden Bodenfaktoren** (vgl. Kapitel 7.2.3) herangezogen werden. Darüber hinaus sind auch pflanzenbedingte Einflussfaktoren (vgl. Kapitel 7.3.1), die das Anreicherungsverhalten von Schadstoffen in Nutzpflanzen bedingen (vgl. Kapitel 7.2.4), zu beachten.

Einzelne Untersuchungsergebnisse zur **aktuellen Belastung von Pflanzen** (Pflanzenuntersuchungen) sind im Hinblick auf längerfristige Aussagen nur wenig belastbar. Für gesicherte Aussagen sind aufgrund der extrem großen Variabilität der anzutreffenden Pflanzengehalte in der Regel Pflanzen zu untersuchen, die die jeweiligen Schadstoffe bevorzugt anreichern bzw. die besonders häufig verzehrt werden. Dies ist allerdings mit Blick auf zeitnah notwendige Entscheidungen i.d.R. kaum mit verhältnismäßigem Aufwand möglich (vgl. hierzu auch Kapitel 7.4).

### 7.1.2. Schadstoffaufnahme Nutzpflanze-Mensch

Wenn Nutzpflanzen auf schadstoffbelasteten Flächen angebaut werden und die Schadstoffe vom Boden in die Nutzpflanzen (Gemüse und Obst) gelangen, hängt die Schadstoffaufnahme des Menschen schließlich von den **nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen** ab, die charakterisiert werden durch die Anbau- und Verzehrgewohnheiten der Nutzenden.

Da unterschiedliche Pflanzenarten Schadstoffe unterschiedlich stark akkumulieren (vgl. Kapitel 7.3.1), kommt der Frage des zu berücksichtigenden Anbauspektrums und der Verzehrmenen besondere Bedeutung zu. Bei Einhaltung der Prüfwerte nach BBodSchV ist sichergestellt, dass gesundheitliche Beeinträchtigungen beim Nutzenden des Gartens **bei üblicher Bandbreite** der angebauten Obst- und Gemüsearten sowie **gängigen Verzehrmenen** auszuschließen sind.

Falls **besondere Anbauvorlieben** (z.B. nur Grünkohl oder Spinat, ausschließliche Versorgung von Kleinkindern etc.) und damit ungünstigere Konstellationen vorliegen, ist eine Überprüfung der Nutzpflanzenauswahl in Hinblick auf deren besonderes Anreicherungsverhalten gegenüber den am Standort relevanten

**Pflanzenverfügbarkeit**

**Pflanzenuntersuchungen**

**Anbau- und Verzehrmenen**

**Nutzpflanzenauswahl und Anreicherung**

**Sonderfälle und Vorlieben**

Schadstoffen erforderlich, und die Abschätzung der Schadstoffaufnahme ist entsprechend anzupassen (vgl. Kapitel 7.3.1).

Sind keine Auffälligkeiten im Anbau- und Verzehrverhalten festzustellen, kann eine Expositionsabschätzung über die Erhebung der tatsächlichen Anbaufläche durchgeführt werden (vgl. Kapitel 7.3.2).

**Anbaufläche  
prüfen**

Sind besondere Anbaugewohnheiten zu berücksichtigen oder ist eine integrative Beurteilung der oralen Schadstoffaufnahme über mehrere Wirkungspfade erforderlich (z.B. Cadmium und Thallium), sollte zur Betrachtung der **aktuellen Nutzung** auch die aktuelle Schadstoffaufnahme des Menschen durch den Verzehr von Nutzpflanzen quantifiziert werden. Dies setzt voraus, dass die **Schadstoffgehalte der zu verzehrenden Nutzpflanzen**, die auf der zu untersuchenden Fläche angebaut werden, bekannt sind oder abgeschätzt werden können.

Da Untersuchungen der aktuell angebauten Nutzpflanzen vergleichsweise stör anfällig sind (vgl. Kapitel 7.4), sollten hierzu i.d.R. vorrangig fachlich begründete Transferabschätzungen (vgl. Kapitel 7.2.4) ausgehend von den Schadstoffgehalten des Bodens durchgeführt werden.

**Transferab-  
schätzun-  
gen...**

Als Vorteile dieser Vorgehensweise ist anzusehen, dass die mögliche, langfristig im Mittel zu erwartende Schadstoffaufnahme für das Gesamtsystem Boden-Nutzpflanze-Mensch statistisch gut erfasst und beschrieben werden kann und die mit der Modellierung verbundene Bewertung grundsätzlich nachvollziehbar ist. Hierzu ist es jedoch erforderlich, bestimmte Annahmen zu treffen, die in die Anwendung von Transferabschätzungen und -modellen einfließen (vgl. Kapitel 7.2.4).

**...Boden-  
Nutzpflanze**

## **7.2. Ermittlung bodenabhängiger Expositionsbedingungen**

Ausgangspunkt zur Bestimmung von Schadstoffen im Boden ist i.d.R. die Untersuchung der Gesamtgehalte. Standortspezifische Bodeneigenschaften oder -bestandteile können dabei die Pflanzenverfügbarkeit eines Schadstoffes im Boden und damit die Schadstoffanreicherung in Nutzpflanzen beeinflussen.

**Verfügbarkeit  
für die Pflanze**

### 7.2.1. Gesamtgehalte

Die Gesamtgehalte der Schadstoffe im Boden beschreiben grundsätzlich das maximale Potenzial, das zur Schadstoffbelastung von Nutzpflanzen führen kann. Für bestimmte Schadstoffe, wie beispielsweise **Arsen, Quecksilber oder BaP** sind die Gesamtgehalte maßgeblich für die Bewertung des Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch, da entweder der Verschmutzungspfad im Vordergrund der Bewertung steht (vgl. Kapitel 7.1.1), oder kaum Zusammenhänge mit pflanzenverfügbaren Gehalten festgestellt werden konnten.

In der Regel liegen für die zu untersuchende Fläche bzw. Teilfläche bereits aus der orientierenden Untersuchung die Gesamtgehalte aus der relevanten Fraktion (Feinboden < 2 mm) vor. Die Auswertung der Ergebnisse in der orientierenden Untersuchung ist Grundlage für die DU und legt den Bedarf der Untersuchungsschritte fest. Erlauben die Ergebnisse keine ausreichend sicheren Aussagen zur flächen- und tiefenbezogenen Verteilung der Schadstoffe oder zum Schadstoffinventar, sind ggf. Nachuntersuchungen zur Bestimmung der Gesamtgehalte erforderlich (vgl. Kapitel 10.1).

Zur Beurteilung des Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze enthält die BBodSchV Prüfwerte in Hinblick auf die Pflanzenqualität unter Berücksichtigung ihrer Eignung zum Verzehr, denen die Untersuchungsergebnisse zur Beurteilung gegenübergestellt werden können. Die Prüfwerte gelten für die Beurteilung der Schadstoffgehalte in Nutzgärten in der Bodentiefe 0-30 cm. Für größere Bodentiefen bis 60 cm gelten nach Anhang 2, 2,2 BBodSchV (§15 Abs. 1 MantelV/BBodSchV) die 1,5-fachen Werte.

**Tabelle 10: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze für das Szenario "Nutzgarten" gemäß BBodSchV (Gesamtgehalte [mg/kg])**

Parameter	Methode <sup>1)</sup>	Prüfwert
Arsen	Gesamtgehalt (KW)	200 <sup>2)</sup>
Quecksilber	Gesamtgehalt (KW)	5
BaP	Gesamtgehalt	1
DDT*	Gesamtgehalt	1

1) Extraktionsverfahren KW = Königswasser

2) bei Böden mit teilweise reduzierenden Verhältnissen gilt ein Prüfwert von 50 mg/kg

\* gemäß MantelV/BBodSchV

Für **Quecksilber** sowie für **Arsen** basiert die Beurteilung des Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze lediglich auf Ergebnissen der Königswasser-Extraktion. Bei bundesweiten Auswertungen der TRANSFER-Datenbank (vgl. LABO 1998) konnten nur geringe Zusammenhänge zwischen Boden- und Pflanzengehalten (vgl. LABO 1998) ermittelt werden, so dass die Prüfwerte im Wesentlichen auf Abschätzungen aus üblichen Hintergrundbelastungen basieren.

**Quecksilber  
und Arsen**

Für **Arsen** liegt mittlerweile eine Arbeitshilfe vor, die weiterführende Hilfestellungen für die Gefahrenbeurteilung in Hinblick auf einen Übergang von Arsen vom Boden in Nahrungs- und auch in Futterpflanzen gibt (LABO 2013).

Für **Chrom** existiert kein Beurteilungswert für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze. Die Relevanz für die Beurteilung entsprechender humantoxischer Wirkungen über den Pflanzenpfad ist eher nachrangig.

**Chrom**

**Chrom** wirkt als Chrom<sub>VI</sub> vergleichsweise phytotoxischer als Chrom III (vgl. UBA 2004), wobei für geringe Chrom<sub>VI</sub>-Gehalte im Boden (10 bis 50 mg/kg TM) sogar stimulierende Wirkungen auf das Pflanzenwachstum beschrieben werden, während erst ab 160 mg/kg TM Wachstumsdepressionen beobachtet wurden (vgl. PIRSCHLE in: UBA 2004).

Auswertungen des UBA (2004) ergaben für die **Chrom<sub>VI</sub>**-Aufnahme in Gartenkresse Beurteilungsmaßstäbe bezüglich zunehmender Wachstumsdepressionen in Abhängigkeit vom Bodentyp von 0,5 mg/kg TM (Sand) bis > 200 mg/kg TM (Kompost).

Für **Chrom<sub>III</sub>** wurden dagegen Beurteilungswerte von > 300 bis > 5.000 mg/kg TM Boden abgeleitet.

Für **Benzo(a)pyren** wurde im Rahmen der Prüfwertableitung ein Wert von 1 mg/kg Boden festgelegt. Relevant ist hier insbesondere eine mögliche Anhaftung belasteter Bodenpartikel. Erst ab sehr hohen Gehalten an BaP im Boden (> 15 mg/kg Boden) kann zusätzlich auch der systemische Pfad Relevanz erlangen, so dass in dem Fall Empfehlungen zum verschmutzungsarmen Anbau ggf. keinen ausreichenden Schutz bieten können.

**Benzo(a)pyren**

Für **PAK** liegen umfangreiche Versuche vor, die belegen, dass insbesondere die atmosphärische Deposition sowie die Verschmutzung mit kontaminierten Bodenpartikeln bei Pflanzenarten eine Rolle spielen, deren oberirdisch wachsende Organe als pflanzliche Nahrung dienen. Dabei sind Blattgemüsearten wegen ihrer großen Oberfläche und ihrer wachsartigen Kutikula besonders anfällig für Verschmutzungen.

Aus Böden gelangen PAK z.B. durch Windverfrachtung oder durch Auf- bzw. Anspritzen bei Starkregenereignissen auf pflanzliche Oberflächen. Sie werden dort zum Teil absorbiert ("Direktübergang") und lassen sich auch durch Waschen kaum entfernen. Eine ausgeprägte systemische Aufnahme von PAK aus dem Boden ist üblicherweise nicht anzunehmen, so dass Untersuchungen zur systemischen Pflanzenverfügbarkeit in der Regel nicht zielführend sind.

**PAK**

Wie die Ergebnisse von Lysimeterversuchen weiterhin zeigten, wurden die humantoxikologisch abgeleiteten tolerablen mittleren Pflanzengehalte von 14,4 µg BaP/kg TM (basierend auf der Annahme, dass ca. 300 g Frischgemüse pro Person und Tag verzehrt werden) bereits bei Bodengehalten von 2 mg/kg in einigen Pflanzenarten (z.B. Spinat, Blattsalat) zum Teil erheblich überschritten (DELSCHEN et al. 1999).

Es bestehen erhebliche Unterschiede beim Anreicherungsvermögen unterschiedlicher Gemüsearten (vgl. Kapitel 7.3.1).

### 7.2.2. Pflanzenverfügbare Gehalte

Zur Abschätzung, inwieweit bestimmte anorganische Schadstoffe aus dem Boden in Nutzpflanzen gelangen können, hat sich ein Verfahren zur Bestimmung der Pflanzenverfügbarkeit mittels Ammoniumnitrat-Extrakt bewährt, das in der DIN 19730 beschrieben und als Extraktionsverfahren zur Überprüfung des Wirkungspfad von Boden-Nutzpflanze in Hinblick auf die Pflanzenqualität in Anhang 1 der BBodSchV (Anlage 2, Tabelle 6 MantelV/BBodSchV) für Blei, Cadmium und Thallium vorgegeben ist<sup>19</sup>. Die Eignung des Verfahrens wurde in der Literatur auch für eine Reihe weiterer Elemente beschrieben (z.B. PRÜESS 1992, LIEBE et al. 1997).

In der Regel werden die Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit von Schadstoffen mit Prüfwerten gemäß BBodSchV bei erkennbarer Nutzung für den privaten Anbau von Nahrungspflanzen bereits im Rahmen der orientierenden Untersuchung durchgeführt. Soweit der Wirkungspfad erst in der DU vertieft untersucht wird, sind zur Beurteilung des Wirkungspfad von Boden-Nutzpflanze-Mensch die Untersuchungen auf Pflanzenverfügbarkeit zu ergänzen. Es können dafür beispielsweise Rückstellproben genutzt werden (vgl. Kapitel 10.1).

Zur Beurteilung des Wirkungspfad von Boden-Nutzpflanze in Hinblick auf die Pflanzenqualität sowie ihre Eignung zum Verzehr enthält die BBodSchV Prüfwerte für Blei und Thallium. Für Cadmium sind Maßnahmenwerte festgelegt, die nach Art der angebauten Nutzpflanzen differenziert sind (vgl. Tabelle 11). Die Prüf- und Maßnahmenwerte gelten für die Beurteilung der Schadstoffgehalte in Nutzgärten

**DIN 19730  
Extraktions-  
verfahren mit  
Ammonium-  
nitrat**

**Nachunter-  
suchungs-  
bedarf?**

**Auswertung  
der  
Ergebnisse**

<sup>19</sup> sowie für Arsen, Kupfer, Nickel und Zink in Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen, die allerdings als spezifisches Thema der Landwirtschaft nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeitshilfe sind.

in der Bodentiefe 0-30 cm. Für größere Bodentiefen gelten nach Anhang 2, Abs.2.2 BBodSchV (§15 Abs. 1 MantelV/BBodSchV § 15) die 1,5-fachen Werte.

**Tabelle 11: Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze für das Szenario "Nutzgarten" in Hinblick auf die Pflanzenqualität gemäß BBodSchV [mg/kg]**

Parameter	Methode <sup>1)</sup>	Prüfwert	Maßnahmenwert
Cadmium	AN		0,04 / 0,1 <sup>2)</sup>
Blei	AN	0,1	
Thallium	AN	0,1	

- 1) Extraktionsverfahren AN = Ammoniumnitratextraktion nach DIN ISO 19730
- 2) 2) auf Flächen mit Brotweizenanbau oder den Anbau von stark Cd-anreichernder Gemüsearten gilt der Wert von 0,04 mg/kg; ansonsten der Wert von 0,1 mg/kg

Da **Cadmium** vergleichsweise gut von Pflanzen aus dem Boden aufgenommen werden kann, kommt der Aufnahme von Cadmium über den Verzehr von Nutzpflanzen eine bedeutende Rolle zu. Infolgedessen wurde für Cadmium im Rahmen der BBodSchV neben den Maßnahmenwerten für Nutzgärten (auf Basis der pflanzenverfügbaren Gehalte) ergänzend auch ein **Prüfwert für "Haus- und Kleingarten"** von 2,0 mg/kg auf Basis der Gesamtgehalte (Königswasserextrakt) abgeleitet, der die gleichzeitige Aufnahme von Cadmium über den Wirkungspfad Boden-Mensch und den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch integrativ bewertet (vgl. Kapitel 9.1).

**Cadmium  
integrativ**

Für **Cadmium** gelten enge statistische Zusammenhänge für die Transferbeziehungen zwischen Ammoniumnitrat-extrahierbaren Gehalten im Boden und Pflanzengehalten. Ein erster Maßnahmenwert für hoch-anreichernde Pflanzenarten und Brotweizen wurde bei 0,04 mg/kg Boden (Ammoniumnitrat-Extrakt) festgelegt, ab dem eine Überschreitung des doppelten Lebensmittelrichtwertes (ZEBS 1997) mit 50%iger Wahrscheinlichkeit auftritt. Der Maßnahmenwert von 0,1 mg/kg Boden (Ammoniumnitrat-Extrakt) gilt für mäßig und gering anreichernde Gemüsearten. Eine Abschätzung für Haus- und Kleingärten von DELSCHEN & LEISNER-SAABER (vgl. LABO 1998) zeigt, dass bei Bodengehalten unterhalb von 0,04 mg/kg mit hoher Wahrscheinlichkeit keine toxikologisch relevante Zusatzbelastung des Menschen durch den Verzehr von selbsterzeugtem Gemüse zu erwarten ist.

Unterhalb von 0,1 mg/kg Boden (Ammoniumnitrat-Extrakt) trifft dies ebenfalls zu, allerdings unter der Einschränkung, dass hoch Cd-anreichernde Gemüsearten nur eingeschränkt bzw. nicht angebaut und verzehrt werden.

Für **Blei** erübrigt sich dahingegen eine integrative Betrachtung beider Wirkungspfade in der Regel, da dem Direktpfad allein überragende Bedeutung zukommt, während aufgrund der geringen systemischen Blei-Aufnahme der Nutzpflanzen der Verzehr von Nahrungspflanzen nur in sehr geringem Maße zur Gesamtaufnahme beiträgt.

Auch für **Blei** wurde ein statistischer Zusammenhang zwischen Ammoniumnitrat-extrahierbaren Bodengehalten und Pflanzengehalten ermittelt, so dass ein Prüfwert von 0,1 mg/kg Boden (Ammoniumnitrat-Extrakt) abgeleitet wurde, bei dessen Überschreitung mit 20%iger Wahrscheinlichkeit der doppelte Lebensmittelrichtwert (ZEBS 1997) in mäßig anreichernden Gemüsepflanzen überschritten wird.

Für **Nickel** liegt bislang kein Prüfwert für Nutzgärten vor. Allerdings wurde für Nickel in Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen ein Prüfwert für Ackerbauflächen in Höhe von 1,5 mg/kg Boden (Ammoniumnitrat-extrahierbarer Gehalt) abgeleitet, der ggf. zur Orientierung herangezogen werden kann. Entsprechende Prüfwerte sind im Anhang 2 der BBodSchV (Anlage 2, Tabelle 8 MantelIV/BBodSchV) auch für Arsen, Kupfer und Zink genannt.

Für **Nickel** ist bekannt, dass es sich im Gegensatz zu anderen Schwermetallen tendenziell in den generativen Pflanzenteilen (z.B. Bohnen) anreichert. Transferfaktoren Boden/Pflanze werden in der Literatur (vgl. LÜBBEN & SAUERBECK 1991; BOFAWEB BADEN-WÜRTTEMBERG 2004) in der Größenordnung von 0,01 bis 0,5 angegeben. Auswertungen der TRANSFER-Datenbank (vgl. LABO 1998) hinsichtlich phytotoxischer (pflanzentoxischer) Wirkungen haben an der empfindlichsten Nutzpflanze (Spinat) Zusammenhänge zwischen ammoniumnitrat-extrahierbaren Gehalten und Pflanzengehalten ergeben, die jedoch keinen Prüfwert ableiten ließen.

Im Februar 2015 veröffentlichte die EFSA ein wissenschaftliches Gutachten zu den Risiken für die menschliche Gesundheit durch Nickel in Lebensmitteln, insbesondere Gemüse, sowie im Trinkwasser. Die EFSA ermittelte einen sicheren Höchstwert (Tolerable Daily Intake – TDI) von 2,8 µg/kg KG\*d. Ausgehend von aktuellen Werten für die mittlere bzw. erhöhte Exposition kamen die EFSA-Sachverständigen zu dem Schluss, dass die derzeitige ernährungsbedingte Exposition gegenüber Nickel Bedenken aufwerfen kann.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit oder entsprechender modellhafter Annahmen (vgl. *Kapitel 7.2.4 und Anhang 3*) können für standortspezifische Abschätzungen für den Schadstofftransfer vom Boden in die Pflanze (vgl. *Kapitel 7.2.4*) hinzugezogen werden.

Unter Berücksichtigung von Daten zum Verzehrverhalten der Nutzenden (vgl. *Kapitel 7.3*) können dann **Schadstoffzufuhrmengen** ermittelt werden, die im Rahmen integrativer Betrachtungen der oralen Schadstoffaufnahme über die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch abschließend zu bewerten sind (vgl. *Kapitel 9.1*).

**Abschätzung  
des Schad-  
stofftransfers**

**Schadstoff-  
zufuhrmengen**

### 7.2.3. Pflanzenverfügbarkeitsbestimmende Bodenfaktoren

Ist im Rahmen der orientierenden Untersuchung der Nachweis hoher Schadstoffgesamtgehalte erbracht worden, können **einfach zu bestimmende Bodenparameter** Hinweise auf deren Verfügbarkeit geben. Diese Untersuchungen sind allerdings nur dann sinnvoll, wenn die systemische Schadstoffaufnahme in Pflanzen über das Wurzelsystem im Vordergrund steht (vgl. Kapitel 7.1.1).

**Bodenparameter**

#### **Einflussfaktoren**

Die Pflanzenverfügbarkeit von Stoffen im Boden wird von einer Reihe von Bodenparametern beeinflusst (vgl. im Detail z.B. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2010, BLUME 2004). Insbesondere sind zu nennen:

- pH-Wert (z.B. relevant bei Schwermetallen),
- organische Substanz (z.B. relevant bei organischen Schadstoffen) und
- Korngrößenverteilung bzw. Tonanteil (relevant bei anorganischen und organischen Schadstoffen) sowie
- reduzierende Bedingungen infolge Vernässung (beispielsweise bei Arsen relevant)

Bei **pH-Werten** oberhalb von ca. 5 (z.B. Blei) bis 6 (z.B. Cadmium oder Nickel) nimmt die Verfügbarkeit von Schwermetallen in der Regel ab. So kann beispielsweise auf kontaminierten Standorten, auf denen aufgrund der Historie mit gut gepufferten Substraten und konstant hohen pH-Werten zu rechnen ist (z.B. durch Schlackenrückstände), trotz hoher Metallgesamtgehalte der Transfer Boden-Nutzpflanze von geringer Bedeutung sein. Andererseits lässt sich bei hohen mobilen Schwermetallgehalten aus der Kenntnis des pH-Wertes in Verbindung mit dem Gesamtgehalt beurteilen, ob sich durch pH-Wert-Erhöhung der mobile Schwermetallgehalt bewertungsrelevant verringern lässt.

**pH-Werte und Schwermetallverfügbarkeit**

Auch zur Ableitung **standortspezifischer Regressionsgleichungen** zur Pflanzenverfügbarkeit von Schadstoffen ist die Kenntnis der pH-Werte unabdingbar (vgl. Kapitel 7.2.4).

Hohe Anteile **organischer Substanz** (ermittelt beispielsweise als TOC) können insbesondere organische Schadstoffe sorbieren, so dass diese dann für Pflanzen sowohl über das Wurzelsystem als auch den Gaspfad kaum verfügbar sind.

**TOC**

Ebenso können in Böden mit hohem **Tonanteil** Schadstoffe gebunden und die Aufnahme über das pflanzliche Wurzelsystem vermindert werden. Die exakte Bestimmung der Tonanteile mittels Korngrößenanalysen ist in der Regel jedoch sehr aufwändig. In vielen Fällen reicht aber eine akkurate Bestimmung der Bodenart gemäß KA 5 (AG BODEN 2005) mittels Fingerprobe aus. Die Kenntnis von Bodenart und TOC-Gehalt ist zudem für die Zuordnung des Ziel-pH-Wertes, dem beispielsweise in der Landwirtschaft und im Gartenbau eine große Bedeutung zukommt, notwendig. Dieser pflanzenbaulich orientierte Ziel-pH-Wert beschreibt einen pH-Wert-Bereich, der wiederum Bedeutung in Hinblick auf die Pflanzenverfügbarkeit von Schadstoffen hat (s.o.).

**Bindung von  
Schadstoffen  
in Böden**

Die Ergebnisse der Untersuchungen können ggf. im Rahmen der Transferbetrachtungen Boden-Nutzpflanze einbezogen (vgl. Kapitel 7.2.4) und in standort-spezifischen **Zusammenhangsanalysen** berücksichtigt werden.

**Auswertung  
der  
Ergebnisse**

Da bei **Überschreitung der Prüfwerte** (vgl. Tabelle 11) zunächst zu prüfen ist, inwieweit die Gefahr durch einfache Maßnahmen abgewehrt bzw. beseitigt werden kann, stellt beispielsweise die Überprüfung und ggf. Erhöhung des pH-Wertes eine geeignete Maßnahme dar, die allerdings regelmäßige Kontrolle und ggf. Wiederholungen erfordert.

Als Fazit ist festzuhalten, dass die Bestimmung der die Verfügbarkeit beeinflussenden Bodenparameter (pH-Wert; organische Substanz, Korngrößenverteilung bzw. Tonanteil) **methodisch einfach und kostengünstig** ist und zusätzliche Anhaltspunkte für die Bewertung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze-Mensch liefert. Zumindest der pH-Wert sollte daher in keiner Bodenuntersuchung fehlen.

**pH-Wert als  
Standard-  
messung**

In der Bewertung der Daten sind jedoch auch die **Grenzen der Aussagekraft** zu berücksichtigen. So ist zwar für die Vorsorgewerte der BBodSchV eine Differenzierung der Werte in Hinblick auf Bodenart, TOC und pH-Wert vorgesehen, aber bei der Ableitung der Prüf- bzw. Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze wurde auf die Berücksichtigung dieser Faktoren verzichtet.

**Aussagekraft**

Grund hierfür ist zum einen, dass der pH-Wert keine langfristig stabile Größe darstellt, sondern durch unterschiedliche Einflüsse (Säureinträge, Kalkung, Redoxreaktionen etc.) veränderbar ist und einer zeitlich begrenzten Gültigkeit unterliegt.

**pH-Wert  
temporär**

Zum anderen lässt sich damit der Aufnahmepfad über die Anlagerung und Auflagerung von Schadstoffen auf (auch oberirdische) Pflanzenteile (Verschmutzungspfad) nicht näher abschätzen.

**Verschmutzung**

#### **7.2.4. Transferabschätzung Boden-Nutzpflanze**

Zur Beurteilung des Wirkungspfad des Boden-Nutzpflanze-Mensch interessiert letztendlich der Schadstoffgehalt in der verzehrten Nutzpflanze. Liegen keine belastbaren und reproduzierbaren Daten aus Pflanzenuntersuchungen vor (vgl. Kapitel 7.4), sind Transferabschätzungen erforderlich.

**Modellbetrachtung**

Transferabschätzungen Boden-Nutzpflanze ermöglichen, **Schadstoffgehalte in angebauten Nutzpflanzen (C<sub>P</sub>)** auf Basis von Untersuchungsergebnissen des Bodens (vgl. Kapitel 7.2.1 bis 7.2.3) abzuschätzen. In der vorliegenden Arbeitshilfe bilden Transferabschätzungen die Grundlage für Expositionsabschätzungen zur oralen Schadstoffzufuhr für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch bzw. einer integrativen Pfadbetrachtung. Sie basieren auf Zusammenhangsanalysen zwischen **pflanzenverfügbaren Schadstoffgehalten** im Boden (vgl. Kapitel 7.2.2) und den **verzehrfähigen Teilen von Nutzpflanzen**, unter Berücksichtigung relevanter Einflussgrößen (vgl. Kapitel 7.2.3).

**Zusammenhangsanalysen**

Mit Hilfe von Regressionsfunktionen wurden im Rahmen der Prüfwertableitung für Blei und Cadmium **Transferbeziehungen** für unterschiedliche Pflanzen-Anreicherungsgruppen aufgestellt (vgl. Anhang 3, Kapitel 2.3.1.2), die für Transferabschätzungen herangezogen werden können.

Detaillierte Ausführungen zu Berechnungsmodellen für Transferabschätzungen Boden-Nutzpflanze sowie Beispiele hierzu finden sich in Anhang 3.

### Regressionsmodelle

Für Blei und Cadmium liegen umfassende Erhebungsuntersuchungen im Freiland vor, die Grundlage für statistische Regressionsmodelle bilden und die in bundesweiten Auswertungen für die TRANSFER-Datenbank<sup>20</sup> des Umweltbundesamtes (vgl. KNOCHE et al. 1999, LABO 1998, UBA-UFOPLAN 2013 FKZ 371371227) genutzt wurden, um Gruppen von Pflanzenarten mit unterschiedlichem Anreicherungsvermögen zu unterscheiden.

Diese Regressionsmodelle integrieren i.d.R. zahlreiche Einflussfaktoren (wie Region, Witterung, Pflanzensorten etc.), die die Aussagesicherheit der erkannten Zusammenhänge beeinflussen. Dennoch sollte die Unsicherheit einer Abschätzung über Regressionsmodelle bei der Beurteilung berücksichtigt werden. Hierfür können z.B. statistische Gütemaße (z.B. Konfidenzbänder) herangezogen werden. Ggf. ist auch zu prüfen, ob eine Regionalisierung der Transferbeziehungen die Aussagesicherheit verbessern kann.

Falls keine oder nur unzureichenden Untersuchungen des Bodens zu pflanzenverfügbaren Gehalten im Ammoniumnitrat-Extrakt vorliegen, können auch diese über gebietsspezifische oder allgemeine statistische Regressionsmodelle abgeschätzt werden (LUA NRW 2005); *vgl. Anhang 3, Kapitel 2.3.1.3*). Bei Nutzung solcher allgemeinen Modelle sind jedoch **immer gründliche Prüfungen** zur Übertragbarkeit und Anwendbarkeit auf die zu beurteilenden Standorte anzuraten. Dazu gehören die Überprüfung von Ursache und Quelle der Schadstoffbelastungen, der Abgleich äußerer Rahmenbedingungen sowie eine **stichprobenhafte messtechnische Überprüfung der Pflanzenverfügbarkeit**.

Plausibilitätsprüfungen modellierter oder auch gemessener Ergebnisse sind prinzipiell unerlässlich.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, diese Modelle anhand von Pflanzenuntersuchungen vor Ort zu überprüfen. Dieses Vorgehen erfordert jedoch einen erheblichen Aufwand sowohl bei der Planung als auch bei der Durchführung, nicht zuletzt, weil i.d.R. mehrere Anbaujahre zu berücksichtigen sind (*vgl. Kapitel 7.4*).

Gemessene oder abgeschätzte **Pflanzengehalte** können mit lebensmittelrechtlichen Vorgaben oder anderen Beurteilungsmaßstäben (Daten der Lebensmittel-

**Abschätzung  
pflanzenver-  
fügbarer  
Gehalte**

**Pflanzenunter-  
suchungen?**

<sup>20</sup> Die Datenbank TRANSFER enthält z. Zt. ca. 320.000 Datenpaare Boden/Pflanze, die sich aus Kombinationen von ca. 120 Pflanzenarten bzw. -teilen und verschiedenen Bodenextraktionsmitteln ergeben. Zum Teil existieren auch zu einem Pflanzenergebnis mehrere zugehörige Bodenuntersuchungsergebnisse (Anwendung verschiedener Extraktionsmittel an der gleichen Bodenprobe). Die Auswertung der Datenbank wurde mit fachlicher Begleitung durch die LABO im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführt (vgl. KNOCHE et al. 1997).

überwachung etc.) abgeglichen werden. Hierbei ist auf die unterschiedlichen Zielsetzungen (Verbraucherschutz, Gefahrenabwehr) der jeweiligen rechtlichen Regelungen hinzuweisen, die mit unterschiedlichen Schutzniveaus (Vorsorge / Gefahrenabwehr) verknüpft sind.

### 7.2.5. Anreicherungsverhalten von Nutzpflanzen

Unabhängig von den Eigenschaften des Bodens werden die systemische Aufnahme und Verschmutzung pflanzlicher Oberflächen durch Bodenpartikel auch geprägt von pflanzenphysiologischen und -morphologischen Eigenschaften.

**Anreicherungs-klassen  
für  
verschiedene  
Gemüsearten**

#### **Verschmutzungspfad:**

Sind Schadstoffbelastungen in Gärten bekanntermaßen zu einem hohen Anteil durch Immissionen verursacht oder gewinnt aufgrund des zu betrachtenden Stoffspektrums der Teilpfad "Verschmutzung" eine dominierende Bedeutung (z.B. PAK), richtet sich die Zuordnung zu Anreicherungsklassen nach anderen Kriterien, wie Wuchsform und Blattoberfläche. Maßnahmen zielen hier auf Anbaustrategien zur Verminderung der Verschmutzung ab.

Im Gegensatz zu den Schwermetallen, über die in Bezug auf den Transfer Boden-Pflanze vergleichsweise viel Informationen und Daten vorliegen, stellt sich der Kenntnisstand bezüglich organischer Schadstoffe lückenhafter dar. Lediglich in Einzelfällen kann dabei auf umfassendere Untersuchungen zurückgegriffen werden (z.B. PAK oder PCB). Bei diesen beiden Stoffgruppen spielt mit wenigen Ausnahmen der systemische Pfad eine eher untergeordnete Rolle. Vielmehr überwiegt der Verschmutzungspfad vor allem bei den mehrkernigen PAK (DELSCHEN et al. 1999) bzw. der Gaspfad bei niedrigchlorierten PCB (TRAPP et al. 1994a/1994b). Details hierzu finden sich auch in LFUG 2014.

Soll z.B. die Anreicherung von BaP in der Pflanze sowohl aufgrund des Verschmutzungspfades als auch des systemischen Pfades berücksichtigt werden, kann eine kombinierte Betrachtung der verschiedenen Klassen (vgl. *Anhang 3*) durchgeführt werden, wobei hier der Verschmutzungspfad als der insgesamt dominierende anzusehen ist.

Allgemein lässt sich bezüglich der Organika feststellen, dass die chemisch-physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Substanz das Aufnahmevermögen bzw. das Verteilungsverhalten bestimmen, was vor allem über den n-Oktanol-/Wasser-Verteilungskoeffizienten und die Henry-Konstante abgeschätzt werden kann.

Zur Charakterisierung des Anreicherungsverhaltens von Nutzpflanzen liegen zahlreiche Auswertungen von Daten und Literatur vor (vgl. LABO 1998, DELSCHEN & KÖNIG 1998; KNOCH 1999, LANUV 2014, LUA BB 2010), die die Nutzpflanzen aufgrund des systemischen Aufnahmepfades den Anreicherungsklassen hoch, mittel und niedrig zuordnen. Details sowie schadstoffspezifische Übersichtstabellen dazu finden sich in *Anhang 3*.

**Transfer-faktoren**

Den verschiedenen Anreicherungsklassen können vereinfachte Transferfaktoren<sup>21</sup> für die überwiegend systemische Aufnahme zugeordnet werden. So wird "hoch anreichernd" mit einem anzunehmenden Transferfaktor  $\geq 1$ , "mäßig anreichernd" mit einem anzunehmenden Transferfaktor von  $> 0,1$  bis  $< 1$  und "niedrig anreichernd" mit einem anzunehmenden Transferfaktor  $\leq 0,1$  assoziiert.

### 7.3. Ermittlung der aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen

Die Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen (Pflanzenverfügbarkeit) erfolgt i.d.R. durch den entsprechenden Prüfwertevergleich bereits im Rahmen der OU und führt entweder zum Ausräumen des Gefahrenverdachts in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze, oder es werden weitere Untersuchungsschritte zur Prüfung der **aktuellen Nutzungsbedingungen** erforderlich.

Ist bekannt, welche Schadstoffgehalte in Nutzpflanzen zu erwarten sind (vgl. Kapitel 7.2.4) oder nachgewiesen wurden (vgl. Kapitel 7.4), hängt die Schadstoffaufnahme maßgeblich von der Art der auf der belasteten Fläche angebauten Nutzpflanzen sowie der Verzehrmenge der Nutzpflanzen (Gemüse und Obst) ab.

#### 7.3.1. Nutzpflanzenauswahl

Aufgrund des unterschiedlichen Anreicherungsvermögens von Nutzpflanzen kann es sinnvoll sein, zu prüfen, ob auf der zu betrachtenden Anbaufläche Nutzpflanzen mit besonderem Anreicherungsverhalten für bestimmte Schadstoffe (vgl. hierzu Kapitel 7.2.5) angebaut werden (z.B. reine Grünkohlflächen, Erdbeerbefeld, nur Obstbäume etc.).

Zur Erhebung von Informationen bzgl. der Auswahl angebaute Nutzpflanzen eignen sich Nutzungskartierungen im Zuge der Probennahme, kombiniert mit Befragungen der Nutzenden zum Anbauverhalten.

**Prüfung der Anbaueignungen**

**Nutzungskartierungen, Befragungen**

---

<sup>21</sup> Transferfaktoren beschreiben das Verhältnis zwischen dem Schadstoffgehalt in der Pflanze zum Schadstoffgehalt im Boden

Aus der Zusammenschau der Informationen zum Anbauverhalten der Nutzenden sowie dem Schadstoffinventar am Standort kann eine Abschätzung der Exposition durchgeführt werden.

**Auswertung  
der  
Informationen**

**Beispiel Cadmium:**

Bei Cadmiumbelastungen gilt beispielsweise: Werden keine hoch Cd-anreichernden Pflanzen angebaut, ist der pflanzenverfügbare Gehalt von 0,1 mg/kg maßgeblich (vgl. Anhang 3).

Wird generell nur Obst von Bäumen und Sträuchern angebaut, sind hohe Schadstoffgehalte im Boden von untergeordneter Bedeutung. Auch der Anbau von Küchenkräutern ist in der Regel von nachrangiger Relevanz, da deren Verzehrmen gen prinzipiell gering ausfallen und die damit verbundene Schadstoffzufuhr trotz ihrer hohen Verschmutzungsanfälligkeit vernachlässigt werden kann.

**Obst und  
Früchte**

**Kürbisgewächse (Cucurbitaceae):**

Kürbisgewächse (Cucurbitaceae) reichern Organochlorverbindungen, zum Beispiel bestimmte Pestizide aber auch Dioxine und Furane, aufgrund spezieller Austauschvorgänge zwischen Boden und Feinwurzeln in besonderem Ausmaß an. Das kann schon bei niedrigen Gehalten der Schadstoffe im Boden zu Höchstmengenüberschreitungen in den Ernteprodukten führen (vgl. FiBL 2012, HÜLS-TER et al. 1994, REESE 2018, VOGT 2007).

**7.3.2. Anbau- und Verzehrmen gen**

Zur Abschätzung, welche Schadstoffmenge vom Menschen beim Verzehr von selbst angebautem Gemüse aufgenommen wird, sind neben der Kenntnis zum Schadstoffgehalt in den Nutzpflanzen (vgl. Kapitel 7.2.4 bzw. Kapitel 7.4) insbesondere Informationen zur Verzehrmenge erforderlich.

**Verzehr-  
mengen...**

Zur Abschätzung des standardisierten **Pro-Kopf-Gemüseverzehr**s aus dem Eigenanbau in Kleingärten liegen Daten zu Anbau, Ernte, Verderb und Verzehr vor (vgl. LUA NRW 2001), die im Rahmen von Expositionsabschätzungen für alle möglichen Nutzergruppen verwendet werden können (Angaben in g/kg Körpergewicht und Tag; vgl. Anhang 3).

**... pro-Kopf**

Da zur Quantifizierung der Schadstoffzufuhr über den Verzehr von Gemüse auch das Anreicherungsverhalten Bedeutung hat (vgl. *Kapitel 7.3.1*), ist eine differenzierte Bestimmung der Verzehrmenen für unterschiedlich anreichernde Gemüsearten erforderlich. Hierbei ist eine Differenzierung der Verzehrgeohnheiten in mittlere und ungünstige Fälle zu unterscheiden. Detaillierte Informationen zur Ableitung von standardisierten Verzehrmenen und die Auswertung von Häufigkeitsverteilungen (Perzentile) sind LANUV (2014) zu entnehmen und finden sich zusammengefasst in *Anhang 3*.

**Verzehrgeohnheiten:**

**mittlere und ungünstige Standardannahmen**

In Einzelfällen kann es erforderlich sein, das Anbau- und Verzehrverhalten auch durch Befragungen zu ermitteln. Liegen keine Hinweise auf eine besonders zu berücksichtigende Nutzpflanzenauswahl auf der Anbaufläche vor (vgl. *Kapitel 7.3.1*), kann die Schadstoffaufnahme über die Anbaufläche abgeschätzt werden.

**Anbaufläche**

Zur Erfassung der Anbaufläche ist die Beantwortung folgender Fragen hilfreich:

**Fragen zur Erfassung**

- Welche Nutzpflanzenarten werden angebaut: z.B. Obst, Gemüse, Wurzelgemüse, Kräuter, Kartoffeln (vgl. *Tabellen zum Anreicherungsverhalten in Anhang 3*)?
- Wie groß ist die jeweilige Anbaufläche?
- Von welchen Ernteerträgen ist auszugehen?
- Wie viele Personen sind am Verzehr beteiligt (und zu welchem Anteil)?
- Wie groß ist die Selbstversorgungsquote (alternativ zu obigen Erhebungen oder zur Plausibilitätsprüfung)?

Generell können die in Tabelle 12 aufgelisteten allgemeinen Ernteerträge (vgl. KTBL 1991) sowie allgemeinen Verzehrmenen als maximale Obergrenze für Ernteerträge auf gärtnerisch genutzten Flächen angenommen werden.

Tabelle 12: Ernteerträge in Nutzgärten (KTBL 1991)

	Erträge [kg/m <sup>2</sup> ]	Verzehr Erwachsener [kg/a]	Flächenbedarf [m <sup>2</sup> ]
Obst	1	37	37
Gemüse	3	73	24
Wurzelgemüse	3	7	2
Kräuter	1	< 1	< 1
Kartoffeln	4	55	14

alle Angaben bezogen auf Frischmasse

Bei der humantoxikologischen Plausibilisierung der Maßnahmen- bzw. Prüfwerte für Cadmium und Blei wurde festgestellt, dass bei einer Fläche von etwa 40 m<sup>2</sup> pro Person, die zum Anbau einer durchschnittlichen Gemüseauswahl, bei üblicherweise zu erzielenden Ernteerträgen, genutzt wird, die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV für diesen Wirkungspfad einen ausreichenden Schutz darstellen (vgl. Anhang 3).

**Standard-  
anbaufläche:  
40 m<sup>2</sup>  
pro Person**

Durch den Vergleich der untersuchten Anbaufläche mit der Standardanbaufläche pro Kopf von 40 m<sup>2</sup> kann ein Expositionsquotient EQ<sub>AF</sub> berechnet werden, mit Hilfe dessen die nutzungsabhängige Schadstoffaufnahme über den Verzehr von angebautem Gemüse bei der Beurteilung der **aktuellen Nutzung** Berücksichtigung finden kann.

**Auswertung  
der Daten**

Gleichung 10: Expositionsquotient EQ<sub>AF</sub> zur Berücksichtigung der aktuellen Anbaufläche

$$\text{Expositionsquotient [EQ}_{AF}] = \frac{\text{Anbaufläche } \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{Person}} \right]_{\text{aktuell}}}{\text{Anbaufläche } \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{Person}} \right]_{\text{Standard}}} = \frac{\text{Anbaufläche } \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{Person}} \right]_{\text{aktuell}}}{40 \frac{\text{m}^2}{\text{Person}}}$$

Dieser Expositionsquotient findet primär bei der Bewertung des Szenarios "**Nutzgarten**" Anwendung, für das alleine der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze Relevanz hat, kann jedoch auch in integrative Bewertungsansätze Eingang finden.

Sofern keine Hinweise auf besondere Anbaugewohnheiten (vgl. Kapitel 7.3.1) vorliegen, können mit Hilfe eines Expositionsquotienten EQ<sub>AF</sub> auch Abschätzungen von Verzehrsmengen nach folgender Gleichung 11 erfolgen:

**Abschätzung  
der Verzehr-  
menge**

**Gleichung 11: Berechnung der Verzehrmenge unter Berücksichtigung des Expositionsquotienten EQ<sub>AF</sub>**

$$\text{Verzehrmenge}_{\text{aktuell}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg KG*d}} \right] = \text{Verzehrmenge}_{\text{Standard}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg KG*d}} \right] \cdot \text{EQ}_{\text{AF}}$$

Die Schadstoffzufuhr über den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch kann nach folgender Gleichung 12 bestimmt werden:

**Ermittlung der  
Schadstoff-  
zufuhr**

**Gleichung 12: Berechnung der Schadstoffzufuhr über den Verzehr von Nutzpflanzen**

$$\text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Pfl}} \left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{kg KG*d}} \right] = V_{\text{hoch}} \cdot C_{\text{p}_{\text{hoch}}} + V_{\text{mittel}} \cdot C_{\text{p}_{\text{mittel}}} + V_{\text{niedrig}} \cdot C_{\text{p}_{\text{niedrig}}} C_{\text{p}_{\text{niedrig}}}$$

mit:

$V_{\text{hoch / mittel / niedrig}}$  [g TM/kg KG\*d]: Verzehrmenge hoch-/ mittel-/ niedrigerer Pflanzen für einen Schadstoff

$C_{\text{p}}$  (hoch / mittel / niedrig) [ $\mu\text{g/g}$  TM]: Stoffgehalt im Ernteprodukt (hoch-/ mittel-/ niedrigerer), z.B. abgeschätzt mit Hilfe von Transferfunktionen (*Anhang 3*)

Details zu Annahmen über Verzehrmenngen finden sich in *Anhang 3*. Eine exemplarische Berechnung dazu ist in *Anhang 4: Fallbeispiel B* ausgeführt.

## 7.4. Pflanzenuntersuchungen

Der Gedanke, das Ausmaß der Pflanzenverfügbarkeit von Schadstoffen im Boden durch direkte Bestimmung der Gehalte in der Pflanze selbst zu ermitteln, ist zunächst naheliegend. Entsprechend genießt diese Vorgehensweise in der Regel eine hohe Akzeptanz. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass Schadstoffgehalte in Pflanzen eine erhebliche Streuung aufweisen können, die von einer Vielzahl kaum kontrollierbarer Einflussfaktoren abhängt. Schwankungen der Schadstoffgehalte einer Pflanzenart können allein aufgrund von Wachstums- und Witterungsbedingungen den Faktor 10 erreichen; hinzukommen Sortenunterschiede, Unterschiede aufgrund von Düngung, Wassergabe, Pflanzenschutz und vieles mehr. Insofern sollte für eine längerfristig gültige Beurteilung aus fachlicher Sicht Transferabschätzungen (*vgl. Kapitel 7.2.4 und 7.2.5*) der Vorzug gegenüber konkreten Pflanzenuntersuchungen gegeben werden, da diese auf einer langjährigen, breiten Datenbasis ermittelt wurden.

**hohe Akzeptanz...**

**...geringe Belastbarkeit**

Erscheint es dennoch notwendig oder auch aus fachlichen Erwägungen heraus sinnvoll, konkrete Pflanzenuntersuchungen durchzuführen, ist im Vorfeld neben dem finanziellen Aufwand auch der zeitliche Rahmen für die Untersuchungen zu

**Rahmenbedingungen für  
Pflanzenuntersuchungen**

klären. In die Entscheidung sollten mögliche Schwierigkeiten in der Interpretation insbesondere bei einmaligen Untersuchungen einfließen (vgl. hierzu auch DELSCHEN & KÖNIG 1998; LUA NRW 2001).

In *Anhang 3* sind einige wichtige Rahmenbedingungen zur Pflanzenauswahl, den Anbaubedingungen sowie zur Probennahme und Analytik zusammengestellt.

### **7.5. Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze-Mensch**

Der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch weist im Kontext dieser Arbeitshilfe nur im Szenario "**Nutzgarten**" **alleinige Relevanz** auf (vgl. *Kapitel 4.2*).

Dagegen sind Flächen, auf denen der Anbau von Nahrungspflanzen zum Eigenverzehr lediglich eine **Teilnutzung** darstellt, dem Nutzungsszenario "Haus- und Kleingarten" zuzuordnen. In dem Fall wird die Bewertung der gärtnerischen Nutzung in der Regel zusätzlich zum Direktpfad Boden-Mensch betrachtet.

**Hausgarten  
und  
Kleingarten**

Die Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen (Pflanzenverfügbarkeit) zur Beurteilung der **sensibelsten planungsrechtlich zulässigen Nutzung** erfolgt i.d.R. bereits im Rahmen der OU und führt entweder zum Ausräumen des Gefahrenverdachts in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze, oder es waren weitere Untersuchungsschritte zur Prüfung der **aktuellen Nutzungsbedingungen** erforderlich.

Vereinfachte Expositionsabschätzungen können auf Basis erhobener Nutzflächengrößen durchgeführt werden, mit Hilfe derer der **Expositionsquotient EQ<sub>AF</sub>** für die Abschätzung der Schadstoffaufnahme über den Verzehr von angebautem Gemüse ermittelt werden kann (vgl. *Kapitel 7.3.2*).

**Ermittlung von  
EQAF**

Damit kann im Einzelfall ein **Beurteilungswert (BWa<sub>PI</sub>)** berechnet werden. Die Gleichung lautet:

**Gleichung 13: Beurteilungswert (B<sub>Wa Pfl</sub>) für die aktuelle Nutzung (a) für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch**

$$B_{Wa Pfl} = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{EQ_{AF}}$$

Mit:

B<sub>Wa Pfl</sub> [mg/kg] = Beurteilungswert für aktuelle Nutzung, bezogen auf gemessene Gesamtgehalte im Boden (Bodenfraktion < 2 mm)

EQ<sub>AF</sub> = Expositionsquotient in Bezug auf die Anbaufläche (vgl. Gleichung 10)

Dabei ist zu prüfen, inwieweit der Nutzpflanzenanbau aufgrund der Größe der Anbaufläche überhaupt Relevanz erlangen kann. Werden im Einzelfall spezifische Anbauverhalten (z.B. nur Grünkohl) angetroffen, sind Erhebungen sowohl zur Verzehrmenge pro Kopf als auch zum Schadstoffgehalt in der Nutzpflanze notwendig.

Schließlich wird entweder der **Gefahrenverdacht für die aktuelle Nutzung** insoweit **ausgeräumt** und es werden Schutz-/Beschränkungsmaßnahmen zur Festbeschreibung des Status Quo der aktuellen Nutzung notwendig, oder die Gefahr wird **festgestellt** und es werden weitergehende Maßnahmen erforderlich.

Im **Endergebnis** sind dann im Rahmen der abschließenden Gefährdungsabschätzung die Auswertungen für **alle relevanten Schadstoffe** für die untersuchte Fläche zusammenzuführen und aus bodenschutzrechtlicher Sicht festzustellen, ob der Gefahrenverdacht für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch insoweit ausgeräumt (Unterschreitung der Prüf- und Maßnahmenwerte) oder die Gefahr festgestellt wurde. Hierbei sind die relevanten Schadstoffe jeweils zu nennen.

Handelt es sich um eine Nutzung der Fläche als Haus- oder Kleingarten, sind parallel auch Auswertungen zum Wirkungspfad Boden-Mensch erforderlich (vgl. Kapitel 5), die ggf. je nach Schadstoffinventar einer integrativen Betrachtung zu unterziehen sind (vgl. Kapitel 9.1).

Zur Bewertung gemessener oder mit Hilfe von Modellen errechneter Pflanzengehalte unter Berücksichtigung der **aktuellen Nutzung** können schließlich auch Schadstoffzufuhrmengen für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch ermittelt werden (vgl. Berechnungsgrundlagen in Anhang 3).

**Relevanz des  
Nutzpflanzenanbaus?**

**Ermittlung von  
Schadstoffzufuhrmengen**

Im Falle integrativer Betrachtung (vgl. Kapitel 9.1) der Wirkungspfade Boden-Nutzpflanze-Mensch und Boden-Mensch – wie beispielsweise für Cadmium in Haus- oder Kleingärten - ist die Ermittlung der Schadstoffzufuhrmenge (vgl. Gleichung 12 und siehe Details in Anhang 3) obligat.

**Kurz gesagt:**

**Ist der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch beispielsweise in Hausgärten oder Kleingärten relevant, sind Expositionsabschätzungen durchzuführen, die die Schadstoffzufuhr über den Verzehr von angebautem Gemüse quantifizieren lassen. Durch Messung pflanzenverfügbarer Gehalte kann der Transfer von Schadstoffen, wie Blei, Cadmium und Thallium, vom Boden in die Nutzpflanze prognostiziert werden. Einflussfaktoren wie pH-Wert, TOC und Bodenart können ergänzende Informationen zur aktuellen Mobilität der Schadstoffe liefern.**

**Da Nutzpflanzen Schadstoffe in unterschiedlichem Maß anreichern, ist die Kenntnis des Spektrums der angebauten Nutzpflanzen sinnvoll. Wenn bestimmte Gemüsearten (z.B. Grünkohl, Erdbeerefeld etc.) außergewöhnlich häufig angebaut werden, kann das spezielle Anreicherungsverhalten ausschlaggebend für die Bewertung sein.**

**Zur Abschätzung der möglichen Schadstoffzufuhr über den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch sind Angaben zu Verzehrsmengen der Nutzenden erforderlich. Grundsätzlich kann das über Befragungen/Erhebungen erfolgen, dies liefert i.d.R. aber nur eingeschränkt belastbare Daten. Hilfsweise können Studien zu Verzehrsmengen, die mittlere und ungünstige Fälle unterscheiden lassen, genutzt werden.**

**Vereinfachte Abschätzungen lassen sich unter Berücksichtigung der Anbaufläche durchführen. Die Expositionsabschätzung im Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch bemisst die Schadstoffaufnahme des Menschen über den Verzehr von selbstangebautem Obst und Gemüse. Für das Nutzungsszenario "Haus- und Kleingarten" ist sie integrativ mit der Schadstoffzufuhr über den Wirkungspfad Boden-Mensch auszuwerten.**

## 8. Durchführung von Expositionsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-(Futterpflanze)-Nutztier-Mensch

*Welche Fallkonstellation wird hier beschrieben?*

*Welche Untersuchungsmethoden sind geeignet?*

*Wie sind die Untersuchungen durchzuführen?*

*Wie werden die Untersuchungsergebnisse beurteilt?*

Als Sonderfall wird im Rahmen der Arbeitshilfe auch der Wirkungspfad Boden-(Futterpflanze)-Nutztier-Mensch kurz gestreift. Die landwirtschaftliche Nutzung mit kommerzieller Tierhaltung wird dahingegen ausgeklammert, da hierfür konkrete rechtliche Rahmenbedingungen des Futtermittel- und Lebensmittelrechts bestehen. Betrachtet werden Fallkonstellationen, in denen in Gärten ("Haus- und Kleingarten") oder auf Grünflächen einzelne Nutztiere gehalten werden (z.B. Hühner, Ziegen, Schafe, Kaninchen) und letztlich auch ein Verzehr der anfallenden tierischen Produkte erfolgt (Eier, Milch, Fleisch).

***Nutztierhaltung in privaten Gärten***

Hier ist zu beachten, dass der Schadstofftransfer sowohl über die Schadstoffaufnahme aus dem Boden in die Futterpflanze und dann ins Nutztier erfolgen kann, als auch direkt vom Boden (der an Futterpflanzen anhaftet oder direkt aufgenommen wird, wie z.B. bei Freilandhaltung von Hühnern) ins Nutztier. Die Bewertung der direkten Bodenaufnahme durch Tiere ist derzeit nicht geregelt, da Transferfaktoren Boden-Tier fehlen.

***Schadstofftransfer Boden-Nutztier?***

### 8.1. Bodenuntersuchungen

Eine durch Bodenbelastungen verursachte Schadstoffaufnahme bei Nutztieren erfolgt überwiegend über äußerliche Anhaftungen von Bodenmaterial an Futterpflanzen. Dabei wurde im Rahmen der Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV von einem Verschmutzungsanteil von standardmäßig 3 % ausgegangen; in der Praxis liegen die Werte je nach Tierart, Bodenverhältnissen, Vegetationsbedeckung, Haltungs- und Weidebedingungen etc. zwischen 1 % und 10 % (LUA BB 2010).

***Bodenaufnahme durch Anhaftungen an Futterpflanzen***

Der Verschmutzungsanteil wird beeinflusst durch die **Art der Haltung** (Freilandhaltung > Stallhaltung), **Fütterungsverfahren** (Weide > Schnitt- und Erntennutzung) und die Futterzusammensetzung (bodennahe Pflanzen > bodenferne Pflanzen).

**Verschmutzungsanteil?**

Der Wirkungspfad Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch wird in der BBodSchV nicht direkt betrachtet. Allerdings zielen die Maßnahmenwerte der BBodSchV (vgl. Tabelle 13) für Grünlandflächen darauf ab, eine **Gefährdung der Tiere** bzw. der **Konsumenten tierischer Produkte zu verhindern**.

**Grünlandnutzung**

**Tabelle 13: Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze auf Grünland in Hinblick auf die Pflanzenqualität [mg/kg]**

Stoff	Extraktionsverfahren*	Prüfwert	Maßnahmenwert
Arsen	KW	-	50
Blei	KW	-	1.200
Cadmium	KW	-	20 <sup>1)</sup>
Kupfer	KW	-	1.300 <sup>2)</sup>
Nickel	KW	-	1.900
Quecksilber	KW	-	2
Thallium	KW	-	15
Hexachlorbenzol		0,5	-
Hexachlorcyclohexan, gesamt		0,05	-
PCB <sub>6</sub> **		-	0,2
PCDD/F <sup>3)</sup> **		15	-

<sup>1)</sup> Bei Flächen mit pH-Werten unter pH 5 gilt ein Maßnahmenwert von 15 mg/kg.

<sup>2)</sup> Bei Grünlandnutzung durch Schafe gilt ein Maßnahmenwert von 200 mg/kg.

<sup>3)</sup> Summe der polychlorierte Dibenzo-para-dioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) errechnet unter Verwendung der WHO-TEQ (2005)

\*: KW: Königswasserextraktion

\*\* zusätzlicher Parameter der MantelV/BBodSchV

Bei Überschreitung der Prüf- bzw. Maßnahmenwerte der BBodSchV in Bezug auf den Wirkungspfad Boden-Futterpflanze besteht die Möglichkeit, im Rahmen der Detailuntersuchung zu prüfen, ob der tatsächliche Verschmutzungsanteil deutlich über oder unter dem angenommenen Standard von 3 % anzunehmen ist. Daran sind entsprechende Maßnahmen auszurichten, die auf eine verschmutzungsarme Bewirtschaftung zielen (LUA BB 2010).

**Verschmutzung < 3 %?**

## 8.2. Untersuchung von Futterpflanzen

Wenn im Einzelfall Schadstoffgehalte im Futter untersucht werden sollen, ist darauf zu achten, dass das Pflanzenmaterial im Gegensatz zur Untersuchung von Lebensmitteln vor der Analyse nicht gewaschen werden darf, da in die Bewertung ein praxisüblicher Verschmutzungsanteil eingehen soll (LUA BB 2003, LUA BB 2010). Zur Untersuchung des Pflanzenmaterials selbst sei auf *Kapitel 7.4* verwiesen. Die ermittelten Werte können mit den einschlägigen futtermittelrechtlichen Beurteilungswerten<sup>22</sup> in Futterpflanzen abgeglichen werden. Empfehlungen hierzu finden sich in LUA BB (2003).

Schadstoffgehalte im Futter

## 8.3. Untersuchung tierischer Produkte

Die Untersuchung tierischer Produkte wie Eier, Milch oder Fleisch ist nur in wenigen Fällen anzuraten. Auch dafür gelten die bereits in Hinblick auf Pflanzenuntersuchungen in *Kapitel 7.4* dargestellten Einschränkungen (hohe Variabilität der Ergebnisse, Vielzahl möglicher Einflussfaktoren etc.). Die Untersuchungsergebnisse tierischer Produkte sind mit ggf. vorhandenen lebensmittelrechtlichen Vorgaben abzugleichen<sup>23</sup>. Die Ergebnisse können aber auch in Expositionsabschätzungen einfließen, die Verzehrmenngen und -gewohnheiten integrieren. Hierfür sind ggf. Standardannahmen zu recherchieren, beispielsweise aus Warenkorb-betrachtungen oder Verbrauchsstatistiken zum Lebensmittelverzehr.

Schadstoffgehalte in tierischen Produkten

### **Kurz gesagt:**

***Der Wirkungspfad Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch stellt einen Sonderfall dar, der nur in Einzelfällen Bedeutung erlangen kann. Werden Nutztiere privat auf Böden mit Bodenbelastungen gehalten, können Schadstoffe über die Futterpflanzen oder über anhaftende Verschmutzungen direkt in die Nutztiere gelangen. Orientierende Hinweise hierfür können Überschreitungen der Maßnahmenwerte zur Beurteilung von Grünlandnutzung geben. Im Rahmen der Expositionsabschätzung können Transferabschätzungen Boden-Futterpflanze mit Hilfe von Pflanzenverfügbarkeitsuntersuchungen oder Abschätzungen zum Verschmutzungsanteil oder ggf. auch Untersuchungen des Futters direkt durchgeführt und ggf. für Modellabschätzungen zur Schadstoffaufnahme verwendet werden.***

<sup>22</sup> Verordnung der EG Nr. 2002/32/EG (mit den Neuregelungen für Blei und Quecksilber aus EU 2017/2229) vom 25.12.2017: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02002L0032-20171225&rid=15>

<sup>23</sup> Verordnung der EG Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln vom 19. Dezember 2006 sowie Kontaminanten-Verordnung vom 19. März 2010

## 9. Sonderfälle der Expositions Betrachtung

*Was ist zu tun, wenn mehrere Wirkungspfade gleichzeitig zu betrachten sind?  
Wie können neue Szenarien entwickelt werden?  
Wie kann berücksichtigt werden, dass eine Belastung von mehreren Schadstoffen ausgeht?  
Wie wird die Hintergrundexposition berücksichtigt?  
Wie ist bei großflächigen Belastungen vorzugehen?  
Wann sind Untersuchungen am Menschen angezeigt?*

Die in der Arbeitshilfe beschriebene Vorgehensweise zielt im Wesentlichen auf Fallgestaltungen ab, die durch die standardisierten Annahmen und Konventionen der BBodSchV abgebildet und im Einzelfall konkretisiert werden können. Darüber hinaus können sich in der Praxis jedoch besondere Fragestellungen ergeben, von denen nachfolgend einige aufgegriffen und erörtert werden.

### 9.1. Integrative Betrachtung der Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch

Beispielsweise für das hier betrachtete Szenario "Haus- und Kleingarten" sind grundsätzlich sowohl der Wirkungspfad Boden-Mensch als auch der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch von Bedeutung.

*verschiedene  
Wirkungs-  
pfade  
gleichzeitig*

Im Detail ergibt sich jedoch für eine Vielzahl von Stoffen, dass die orale Schadstoffzufuhr über den Pflanzenpfad beispielsweise aufgrund geringen Schadstofftransfers vom Boden in die Pflanze im Vergleich zum Direktpfad eher vernachlässigbar erscheint.

Für einzelne Schadstoffe, wie z.B. **Cadmium** oder **Thallium** erlangt allerdings auch der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch so große Bedeutung, dass eine **integrative Betrachtung beider Wirkungspfade** erforderlich wird. Sowohl über den Direktpfad als auch über den Pflanzenpfad können relevante Schadstoffmengen über den oralen Aufnahmepfad in den menschlichen Organismus gelangen und dort wirksam werden.

*Beispiel Cad-  
mium und  
Thallium*

Für die integrative Beurteilung ist es daher erforderlich, die Schadstoffzufuhrmengen für die orale Aufnahme aus beiden Wirkungspfaden zu ermitteln, um deren Summe den humantoxikologischen Bewertungsmaßstäben gegenüberstellen zu können.

*aggregierte  
Schadstoffzu-  
fuhrmengen*

**Gleichung 14: Integrative Berechnung der oralen Schadstoffzufuhr**

**orale Schadstoffzufuhr**

$$\text{Schadstoffzufuhr}_{\text{integrativ}} = \text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Direktpfad}} + \text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Pflanzenpfad}}$$

Mit:

$$\text{Schadstoffzufuhr}_{\text{Direkt}} \left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{kg KG}^*\text{d}} \right] = \text{Schadstoffgehalt}_{\text{RV}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg Boden}} \right] * \text{Bodenaufnahme} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg KG}^*\text{d}} \right]$$

und:

$$\text{Bodenaufnahme}_{\text{Standard Kinderspielfläche}} \left[ \frac{\text{g Boden}}{\text{kg KG}^*\text{d}} \right] = \frac{0,5 \frac{\text{g Boden}}{\text{d}} * 240 \frac{\text{d}}{\text{a}}}{365 \frac{\text{d}}{\text{a}} * 10 \text{ kg KG}} = 0,033 \frac{\text{g Boden}}{\text{kg KG}^*\text{d}}$$

Berechnung der Schadstoffzufuhr <sub>Pflanzenpfad</sub> (vgl. Gleichung 12)

Die berechneten Schadstoffzufuhrmengen sind gemäß dem folgenden Prinzip zu bewerten:

**Bewertung der Schadstoffzufuhr**

**Gleichung 15: Beurteilung der Schadstoffzufuhr**

$$\text{Schadstoffzufuhr} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{kg KG}^*\text{d}} \right] \leq \frac{\text{gefahrenbezogene Körperdosis} \left[ \frac{\text{ng}}{\text{kg KG}^*\text{d}} \right]}{f_{\text{res}}}$$

Mit:

Gefahrenbezogene Körperdosis (toxisch) = TRD · (F<sub>Gef</sub> - Standardwert Hintergrund)

f <sub>res</sub>	[dimensionslos]	=	Faktor für stoffspezifische Resorption
TRD	[ng/(kg KG*d)]	=	tolerierbare resorbierte Dosis
F <sub>Gef</sub>	[dimensionslos]	=	Gefahrenfaktor (i.d.R. 2-10)
Standardwert Hintergrund		=	Berücksichtigung der Hintergrundexposition über Nahrungsmittel und Umgebungsluft; Regelannahme: 80 % des TRD-Wertes

Dieses Prinzip findet Anwendung, wenn die Schadstoffzufuhr über die Wirkungspfade Boden-Mensch oder Boden-Nutzpflanze-Mensch im Rahmen von Expositionsabschätzungen für chronisch toxisch wirkende Schadstoffe betrachtet wird (Beispiel Cadmium; vgl. Anhang 3 sowie Anhang 4: Fallbeispiel Hausgarten).

**Chronisch-toxische Schadstoffe ...**

Zur integrativen Bewertung kanzerogener Stoffe soll im Einzelfall der toxikologische Sachverstand der jeweiligen Bundesländer oder der Altlastenausschuss (ALA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hinzugezogen werden.

**kanzerogene Stoffe**

## 9.2. Weiterführende Expositions-betrachtungen

In besonderen Einzelfällen kann die Methodik der Expositionsabschätzung auch auf **weitergehende Fragestellungen** angewendet werden. So kann es notwendig werden, spezifische Nutzungsszenarien zu definieren oder Nutzergruppen zu charakterisieren. Aber auch die Berücksichtigung zusätzlicher Schadstoffe oder Schadstoffgruppen, Mehrfachbelastungen durch mehrere Schadstoffe bzw. eine mögliche Schadstoffaufnahme über mehrere Wirkungs- und Aufnahmepfade gleichzeitig kann weiterführende Expositions-betrachtungen notwendig machen.

**Spezialfälle**

### 9.2.1. Neue Nutzungsszenarien

Je nach Fallgestaltung kann es erforderlich werden, ein von den vorhandenen Nutzungsszenarien abweichendes Nutzungsszenario zu definieren, um die Schadstoffaufnahme aus dem Boden (über mögliche Transfer- und Aufnahmepfade) zu modellieren.

#### **Beispiel: Urban Gardening**

Flächen im öffentlichen Bereich, die zum Anbau von Nutzpflanzen ("Urban Gardening") genutzt werden, sind ggf. vom Nutzungsszenario "Nutzgarten" abzugrenzen. Hier können sowohl Überlegungen zur **Nutzergruppe** wie auch zur **typischen Nutzung** (Anbaugewohnheiten, Flächengrößen, Zeitdauer der Nutzung, individuelle/öffentliche Nutzung etc.) zu einer Differenzierung führen.

Beispiel: Bewässerung von Gärten

Ein weiteres Beispiel stellt die Bewässerung von Gärten durch Hausbrunnen o.ä. dar. Hier sind spezifische Überlegungen zum Schadstofftransfer vom ggf. belasteten Grundwasser in Nutzpflanzen sowie ggf. eine stetige Erhöhung der Bodenbelastung modellhaft zu quantifizieren.

Grundlagen für Annahmen für Expositionsabschätzungen liefern beispielsweise die Ausführungen der AGLMB (1995). Im Forschungsvorhaben des UBA (vgl. MEKEL et al. 2007) wurden darüber hinaus zahlreiche Studien gesichtet, im Einzelnen beschrieben, ausgewertet und in Hinblick auf die Ableitung von Modellannahmen gewürdigt (Referenzwerte in RefXP). Darüber hinaus finden sich im Exposure Factors Handbook der U.S. EPA ebenfalls zahlreiche Angaben zu Annahmen und Standards zur Expositionsabschätzung (vgl. U.S. EPA 2011).

**Annahmen  
und  
Konventionen**

Grundsätzlich ist bei der Entwicklung neuer Szenarien oder der Betrachtung zusätzlicher Schadstoffe immer ein **Ableich aller relevanten Aufnahmepfade** gemäß der Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der

Prüf- und Maßnahmenwerte nach der BBodSchV (vgl. UBA 1999ff) durchzuführen, um die Exposition mit den sensibelsten Wirkungen betrachten und in der Bewertung berücksichtigen zu können.

#### **Beispiel: Organische Zinnverbindungen in Strandsand**

Untersuchungen von Strandsand und Sedimenten von Küstenabschnitten in der Nähe von Häfen, die Rückstände mit organischen Zinnverbindungen aufwiesen, ließen Belastungen von Bade-/Freizeitstränden durch Aufspülungen von Sedimenten befürchten. In Ermangelung verbindlicher Regelungen für Bodenbelastungen mit zinnorganischen Verbindungen wurden gesundheitliche Beurteilungswerte für das Expositionsszenario der Strandnutzung durch Kleinkinder und Badegäste analog zu den Verfahren der BBodSchV für "Kinderspielflächen" abgeleitet. Dazu wurden im Rahmen einer Expositionsabschätzung pfadvergleichende Auswertungen für die orale und perkutane Aufnahme durchgeführt.

Quelle: [https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/G/gesundheitschutz\\_umweltbezogen/Boden/strandsand.html](https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/G/gesundheitschutz_umweltbezogen/Boden/strandsand.html)

### **9.2.2. Mischexpositionen und Kombinationswirkungen**

Unter Mischexpositionen ist die gleichzeitige Exposition des Menschen gegenüber verschiedenen Schadstoffen, Schadstoffgemischen oder gesundheitsrelevanten Einflussfaktoren (wie beispielsweise Feinstaub) zu verstehen.

***Gleichzeitige  
Exposition***

So sind häufig verschiedene Schadstoffe gleichzeitig im Boden vorhanden und führen zu Mischexpositionen. Dennoch wird bei der Ableitung der Prüfwerte standardmäßig davon ausgegangen, dass die einzelnen Schadstoffe unterschiedlich und damit unabhängig voneinander wirken, so dass Kombinationswirkungen bis auf wenige Ausnahmen nicht berücksichtigt sind (vgl. UBA 1999ff, B010).

***Einzelstoff-  
bewertung***

Wünschenswert wäre es, folgende Kombinationen von Expositionen zunehmender Komplexität zu berücksichtigen:

- Ein Schadstoff / mehrere Wirkungspfade
- Mehrere Schadstoffe / ein Wirkungspfad (Kombinationswirkungen)
- Mehrere Schadstoffe / mehrere Wirkungspfade

**Ein Schadstoff** kann **gleichzeitig über verschiedene Quellen** (Boden, Luft, Wasser) oder verschiedene Aufnahmepfade (oral, inhalativ) zum Menschen gelangen. Dem wird im Rahmen der Ableitung der Prüfwerte Rechnung getragen, indem jeweils Pfad-zu-Pfad Vergleiche durchgeführt werden. Die Exposition über

verschiedene Quellen (Boden und andere Umweltmedien) wird dabei durch Berücksichtigung der **Hintergrundexposition** (vgl. Kapitel 9.2.3) integriert. Diese Integration ist fachlich komplex, da bei verschiedenen Aufnahmepfaden mitunter auch der relevante Wirkendpunkt im menschlichen Körper variiert und so nicht ohne Weiteres eine Addition der Aufnahme bzw. der damit verbundenen Erkrankungsrisiken möglich ist.

Die Exposition gegenüber einem Stoff, der über verschiedene Wirkungspfade (z.B. Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch, ggf. auch Boden-Nutzpflanze-Nutztier-Mensch) über denselben Aufnahmepfad (orale Aufnahme) in den Mensch gelangt, wird **durch integrative Betrachtung** wie in dieser Arbeitshilfe beschrieben (vgl. Kapitel 9.1) abgebildet.

**Kombinationswirkungen** sind anzunehmen, wenn verschiedene Schadstoffe am selben Wirkendpunkt ansetzen (beispielsweise Sauerstofftransport im Blut) und sich in ihrer Wirkung entweder ergänzen, potenzieren oder möglicherweise auch abschwächen. Die Bewertung solcher Kombinationswirkungen und Mischexpositionen verschiedener Schadstoffe über unterschiedliche Wirkungspfade stellen Wissenschaft, Regulation und Politik bislang jedoch noch vor besondere Herausforderungen. Erste Ansätze dazu werden diskutiert (vgl. CONRAD et al 2014; KÜHLING 2014; KORTENKAMP et al. 2009).

Wissenschaftliche Ausschüsse der EU-Kommission (2012) haben sich mit Kombinationswirkungen von Chemikalien befasst und Kriterien zur Bestimmung der prioritär näher zu bewertenden **chemischen Kombinationen/Mischungen** aufgestellt. Darüber hinaus empfehlen sie, in Fällen, in denen beispielsweise Informationen darüber vorliegen, dass die Wirkungsweise von Stoffen ähnlich ist, den Ansatz einer Dosis-/Konzentrationsaddition zu wählen.

Dieses Prinzip wird im Rahmen der Prüfwertableitung bei der Bewertung von Stoffgruppen angewandt, die Einzelsubstanzen mit gleichem Wirkendpunkt aufweisen (**z.B. Nitroaromaten oder PCDD/F**, vgl. Kapitel 4.1.5).

Sollte der Verdacht von Mischexpositionen mit besonderen Kombinationswirkungen bestehen, die bislang **nicht in den Prüf- oder Maßnahmenwertableitun-**

**Kombinations-  
wirkungen**

**Chemikalien in  
der EU:**

**Additions-  
prinzip**

**medizinische  
Expertise  
erforderlich**

gen **berücksichtigt** sind, so übersteigt dies i.d.R. die Möglichkeiten einer gutachterlichen Bearbeitung – hierzu sind Experten/innen aus dem medizinisch / umwelthygienischen Bereich heranzuziehen. Es empfiehlt sich, die zuständigen oberen Bodenschutzbehörden zu informieren und ggf. bundesweite Einschätzungen und Erfahrungen zu Vergleichsfällen abzufragen.

### 9.2.3. Hintergrundexposition

Nach den Vorgaben zur Ableitung der Prüfwerte (BBodSchVa) soll die gefahrenbezogene Körperdosis durch die Gesamtbelastung des Menschen über alle Pfade nicht überschritten werden. Als Gesamtbelastung des Menschen wird die Bodenbelastung plus die Hintergrundexposition, bestehend aus Nahrungsmitteln und Umgebungsluft, definiert.

Auswertungen für Arsen, Blei und Cadmium haben ergeben, dass die Hintergrundexposition üblicherweise rund 80 % des TRD-Wertes (tolerierbare resorbierte Dosis) ausmacht. Daher wird davon ausgegangen, dass auch für die übrigen Stoffe die Hintergrundexposition bei 80 % des TRD-Wertes liegt (Regelannahme der Prüfwertableitung gem. BBodSchVa).

Liegen für einzelne Stoffe oder standortbezogen detailliertere Kenntnisse und Daten vor (beispielsweise Nutzung von Hausbrunnen, Tierhaltung etc.), können auch nach oben oder unten abweichende Annahmen für die Hintergrundexposition getroffen werden.

Im Falle von kanzerogenen Stoffen entfällt die rechnerische Berücksichtigung der Hintergrundexposition, da hier das durch die jeweilige Exposition verursachte, zusätzliche tolerable Lebenszeitkrebsrisiko betrachtet wird. Ebenso entfällt die Hintergrundexposition bei der Betrachtung von lokal (im Atemtrakt) wirkenden Stoffen (vgl. UBA 1999ff).

### 9.3. Bewertung großflächiger Belastungen

Großflächige Bodenbelastungen treten u.a. in Siedlungsbereichen mit langjähriger Siedlungsgeschichte, Überschwemmungsgebieten, Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten im geogenen Ausgangsmaterial (so in Bergbaugebieten) oder Immissionsgebieten mit ausgeprägter Deposition von Schadstoffen in Erscheinung. Zur Identifikation von Gebieten mit flächenhaften Bodenbelastungen stehen

**Gesamtbelastung**  
=  
**Bodenbelastung**  
+  
**Hintergrundexposition**

**... 80 % des TRD-Wertes**

**Sonderfälle:  
Kanzerogene  
und lokal  
wirkende  
Stoffe**

**Identifizierung  
flächenhafter  
Belastungen**

mehrere Verfahren zur Verfügung, zum Beispiel das Instrument der digitalen Bodenbelastungskarte (BBK) (MUNLV 2004, LfU BW 2011, LANUV 2007, LfUG 2007).

Hat eine orientierende Untersuchung nach BBodSchV eine Prüfwertüberschreitung ergeben, sind im Regelfall für die jeweils betroffene Fläche im Rahmen der Detailuntersuchung weitere Sachverhaltsermittlungen inkl. einer Expositionsabschätzung durchzuführen. Für Gebiete mit großflächigen Belastungen ist jedoch solch ein grundstücks-, flurstücks- oder parzellenbezogenes Vorgehen häufig nicht praktikabel. Die dafür notwendigerweise durchzuführenden Untersuchungen sind außerordentlich aufwändig und bieten insbesondere keine ausreichende Bewertungssicherheit bei wechselnden Nutzungsintensitäten der Flächen. Für diese Gebiete kann es daher sinnvoll sein, auch die Expositionsabschätzung gebietsbezogen durchzuführen (LfUG 2006).

Betrachtet werden können **bodenabhängige**, aber auch **nutzungsabhängige Expositionsbedingungen**. So können Daten zu Aufenthaltsdauer bzw. -häufigkeit in bestimmten Siedlungsgebieten (Ferienhaussiedlung, Wochenendhäuser, Kleingartenanlagen etc.) oder zu Nutzungsstrukturen (Wohnblocks mit Vorgärten) **die Prägung des Gebietes** und damit die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung konkretisieren. Darüber hinaus kann es z.B. zweckdienlich sein, gebietsbezogene Aussagen zur Verfügbarkeit von Schadstoffen etwa in Hinblick auf die Resorptionsverfügbarkeit abzuleiten (vgl. Kapitel 5.2.4).

Die Reihenfolge der Untersuchungsschritte kann hier im Einzelfall vom Standardvorgehen (vgl. Abbildung 1) begründet abweichen, beispielsweise wenn mit Hilfe der nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen zunächst die Prägung des Gebietes definiert und erst im folgenden Schritt der Bedarf für die Prüfung bodenabhängiger Expositionsbedingungen festgelegt wird.

### 9.3.1. Statistischer Kennwert aus Datenkollektiv statt Messwert

Bei einer gebietsbezogenen Bewertung wird zur Abschätzung der Exposition also nicht ein konkreter Messwert bzw. nicht ein konkretes Ergebnis einer Erhebung herangezogen, sondern statistische Kennwerte. Diese Kennwerte werden aus einem das Untersuchungsgebiet repräsentierenden Datenkollektiv ausreichenden Umfangs abgeleitet.

**Praktikabilität**

**Untersuchungsmethoden**

**Repräsentativität**

### 9.3.2. Festlegung der Aussagesicherheit

Gebietsbezogene Bewertungen haben immer günstige, mittlere und ungünstige Expositionsbedingungen zu berücksichtigen. Die Auswertung kann dabei zum Beispiel auf Basis von Perzentilen erfolgen, wobei in der Praxis dem 5., 50. und 95. Perzentil eine besondere Bedeutung zukommt. Häufig wird aber auch das 10. bzw. 90. Perzentil herangezogen.

*statistische  
Kennzahlen*

Im Falle der Resorptionsverfügbarkeit oder der Aufenthaltsfrequenz etwa werden ungünstige Expositionsbedingungen durch das 95. Perzentil (90. Perzentil) des Datensatzes repräsentiert (d.h. hohe Verfügbarkeit bzw. große Häufigkeit), günstige Expositionsbedingungen durch das 5. Perzentil bzw. 10. Perzentil (d.h. geringe Verfügbarkeit bzw. geringe Häufigkeit) und schließlich mittlere Expositionsbedingungen durch das 50. Perzentil (Median).

*ungünstige  
und günstige  
Fall-  
gestaltungen*

Neben statistischen Verteilungsanalysen sind auch Regressionsanalysen unter Einbeziehung von Konfidenzintervallen (d.h. Vertrauensbereiche) geeignet, um mögliche statistische Zusammenhänge zwischen Variablen (z.B. Gesamtgehalt und resorptionsverfügbarer Gehalt) direkt aufzeigen zu können. So wurde aufgrund von Ergebnissen umfassender Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit von Arsen, Blei und Cadmium auf großflächigen Bodenbelastungen im Freistaat Sachsen (Müller et al. 2019) für diese Gebietskulisse ein auf Verteilungs- und Regressionsanalysen basierendes Modell zur Abschätzung der resorptionsverfügbaren Gehalte veröffentlicht (LfULG 2019).

*statistische  
Zusammen-  
hänge*

### 9.3.3. Ableitung gebietsbezogener Beurteilungswerte

Diese statistisch abgeleiteten Kennwerte zur gebietsspezifischen Exposition können dazu verwendet werden, die allgemeinen stoff- und nutzungsspezifischen Beurteilungswerte (i.d.R. Prüfwerte) zu **gebietsbezogenen Beurteilungswerten** (mit Gefahrenbezug) **gBW** zu konkretisieren (MUNLV 2004, LfUG 2006) und zur weiteren Bewertung heranzuziehen.

*Gebiets-  
spezifische  
Beurteilungs-  
werte gBW*

Damit wird es möglich, unterschiedliche Fallgestaltungen unter Beachtung vorgegebener **Aussagewahrscheinlichkeiten bzw. Aussagesicherheiten** spezifisch zu prüfen und abschließend zu beurteilen.

Dabei sind besonders die folgenden gebietsbezogenen Beurteilungswerte von Interesse:

- $gBW_u$ : unterer gebietsbezogener Beurteilungswert; bei Einhaltung dieses Wertes kann selbst bei ungünstigen Expositionsbedingungen der Gefahrenverdacht mit einer hohen Wahrscheinlichkeit (95 % bzw. 90 %) ausgeräumt werden.
- $gBW_m$ : mittlerer gebietsbezogener Beurteilungswert; bei diesem Wert ist die Wahrscheinlichkeit für die Ausräumung des Gefahrenverdachts bzw. die Feststellung der Gefahr jeweils 50 %.
- $gBW_o$ : oberer gebietsbezogener Beurteilungswert; bei Erreichen dieses Wertes muss selbst bei günstigen Expositionsbedingungen die Gefahr mit einer hohen Wahrscheinlichkeit (95 % bzw. 90 %) als bestätigt gelten.

In Fällen, in denen beispielsweise die Bewertung eines Stoffes abschließend auf Basis resorptionsverfügbarer Gehalte möglich ist und statistisch beschreibbare Kenntnisse über die Resorptionsverfügbarkeit in einem abzugrenzenden Gebiet vorliegen, können dafür gebietsbezogene Beurteilungswerte  $gBW$  unter Verwendung statistischer Kennzahlen berechnet werden. Die Beurteilungswerte errechnen sich, wie nachfolgend beschrieben aus resorptionsverfügbaren Anteilen und werden auf der Basis von Gesamtgehalten angegeben.

**Beispiel:**  
**Messungen**  
**zur**  
**Resorptions-**  
**verfügbarkeit**

**Gleichung 16: Gebietsbezogener Beurteilungswert ( $gBW$ ) unter der beispielhaften Berücksichtigung der Resorptionsverfügbarkeit**

$$gBW_u = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{95. \text{ Perzentil der RV [\%]}} \quad gBW_m = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{50. \text{ Perzentil der RV [\%]}} \quad gBW_o = \frac{\text{Prüfwert BBodSchV}}{5. \text{ Perzentil der RV [\%]}}$$

Mit:

$gBW_u$ [mg/kg]	= unterer gebietsbezogener Beurteilungswert; Berücksichtigung ungünstiger Expositionsbedingungen; hier Ableitung auf Basis der resorptionsverfügbaren Anteile
$gBW_m$ [mg/kg]	= mittlerer gebietsbezogener Beurteilungswert; Berücksichtigung mittlerer Expositionsbedingungen; hier Ableitung auf Basis der resorptionsverfügbaren Anteile
$gBW_o$ [mg/kg]	= oberer gebietsbezogener Beurteilungswert; Berücksichtigung günstiger Expositionsbedingungen; hier Ableitung auf Basis der resorptionsverfügbaren Anteile

jeweils unter Angabe des zugrunde gelegten Perzentils des gebietsbezogenen Datenkollektivs in Bezug auf die resorptionsverfügbaren Anteile in %

Sofern zur Bewertung von Stoffgehalten **nutzungsabhängige Expositionsbedingungen** herangezogen werden sollen, kann z.B. mit Hilfe der statistischen Kennzahlen zur Aufenthaltsdauer bzw. -häufigkeit ein Expositionsquotient be-

rechnet werden (vgl. Gleichung 6 und Gleichung 7), der wiederum auf die allgemeinen Beurteilungswerte (Prüfwerte) angewendet wird, um gebietsbezogene Beurteilungswerte zu berechnen.

#### 9.3.4. Anwendung der gebietsbezogenen Beurteilungswerte

Der untere gebietsbezogene Beurteilungswert ( $gBW_u$ ) kann zur Entscheidung herangezogen werden, ob auf Basis gemessener Gesamtgehalte überhaupt weitergehender Untersuchungsbedarf besteht, da bei Einhaltung dieses Wertes mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden kann, dass der Gefahrenverdacht ausgeräumt ist. Umgekehrt ist davon auszugehen, dass bei Überschreitung des oberen gebietsbezogenen Beurteilungswertes ( $gBW_o$ ) mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gefahr festzustellen ist, so dass entsprechende Maßnahmen erforderlich sind. Ein Beispiel für die direkte Verknüpfung von Maßnahmen mit den Wahrscheinlichkeitsmaßen der gebietsbezogenen Beurteilungswerte findet sich beispielsweise im Bodenplanungsgebiet Raum Freiberg (LD Sachsen 2011).

#### 9.4. Human-Biomonitoring

Als schutzgutbezogenes Verfahren zur weiteren Sachverhaltsermittlung nach Prüfwertüberschreitung kommt das Verfahren des Human-Biomonitorings im Zusammenhang mit den Wirkungspfaden Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-(Nutztier)-Mensch insbesondere bei großflächigen Bodenbelastungen in Frage.

Im Gegensatz zu Expositionsabschätzungen, bei denen mit Hilfe von Annahmen und Modellen sowie von Schadstoffmessungen in Kontakt- und Transfermedien Rückschlüsse auf eine äußere und schließlich innere Schadstoffzufuhr durch eine Kontaminationsquelle gezogen werden, haben Human-Biomonitoring-Untersuchungen zum Ziel, die innere Belastung des menschlichen Organismus direkt in menschlichen Körperflüssigkeiten und -geweben zu untersuchen, um individuelle Schadstoffbelastungen zu bestimmen und gegebenenfalls einige hierdurch ausgelöste biologische Wirkungen zu erkennen (UBA 2018).

Die gemessenen Konzentrationen spiegeln dabei die integrale **Belastung des Organismus aus verschiedenen Quellen** (Nahrung, Trinkwasser, Luft, Boden, Bedarfsgegenstände etc.) über alle Aufnahmepfade (oral, inhalativ, dermal) wider

*innere Belastung des menschlichen Organismus...*

und charakterisieren gleichzeitig individuelle Unterschiede hinsichtlich Aufnahmemenge, Resorption, Stoffwechsel sowie Ausscheidung (SCHULZ & KOLOSSA-GEHRING 2010).

Inwieweit mit dessen Hilfe eine Gesundheitsgefahr für die betroffenen Menschen ermittelt werden kann, hängt im konkreten Einzelfall, von standort- und schadstoffabhängigen Kriterien sowie vom zeitlichen Betrachtungshorizont ab. Vertiefende Ausführungen hierzu finden sich im LANUV-Arbeitsblatt 22 (2014).

Da es sich hierbei um unmittelbare Untersuchungen am Menschen handelt, sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, die Kompetenz bzw. Zuständigkeit der entsprechenden Fachämter und -behörden (z.B. Gesundheitsämter) zu integrieren bzw. zu beachten (siehe hierzu auch Veröffentlichungen der HBM-Kommission des Umweltbundesamt<sup>24</sup>).

**Ermittlung von  
Gesundheits-  
gefahren**

**Zuständigkeiten  
beachten!**

**Kurz gesagt:**

***Sonderfälle der Expositionsabschätzung sind integrative Pfadbetrachtungen, die in Abhängigkeit vom Schadstoff die gleichzeitige Schadstoffzufuhr über verschiedene Wirkungspfade erfordern. Auch die Entwicklung neuer Nutzungsszenarien oder die besondere Berücksichtigung der Hintergrundexposition ist im Rahmen der Expositionsabschätzung genauso möglich, wie die Beurteilung großflächiger Bodenbelastungen oder die Berücksichtigung eines Human-Biomonitorings. Der Bewertung von Mischexpositionen und der Kombinationswirkung von Stoffgemischen sind allerdings aus wissenschaftlicher Sicht derzeit noch Grenzen gesetzt.***

---

<sup>24</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/kommission-human-biomonitoring>

## 10. Methodische Anforderungen

*Was ist bei Planung und Durchführung von Untersuchungen zu berücksichtigen?  
Was sollte ein Gutachten zur Expositionsabschätzung beinhalten?  
Wie sollte ein Gutachten zweckmäßigerweise gegliedert sein?  
Was ist im Rahmen der Qualitätssicherung zu beachten?  
Welchen Anforderungen sollte ein/e Gutachter/in genügen?*

### 10.1. Vorgaben zu Probennahme und Analytik

Sofern im Rahmen der Expositionsabschätzung Proben entnommen werden sollen, sind die Vorgaben der BBodSchV in Bezug auf die Größe der zu beprobenden Flächeneinheit (gesamte Fläche bzw. Teilfläche), die Anzahl an repräsentativen Teilproben, die zu einer Mischprobe zusammen zu führen sind, sowie die zu untersuchenden Bodenhorizonte und Tiefenstufen soweit möglich zu berücksichtigen.

Liegen jedoch Hinweise auf Belastungen unterhalb der nach BBodSchV **relevanten Tiefen** vor, die im Falle einer Bodenumlagerung in oberflächennahe Bereiche bewertungsrelevant sein könnten, sind auch diese Tiefenbereiche bei der Probennahme zu berücksichtigen. Maßgeblich ist hier in der Regel der Tiefenbereich bis 1 m, in dem größere Bäume oder Büsche gepflanzt, Kinderspielgeräte verankert oder auch Leitungen verlegt werden und Umlagerungen aus dem tieferen Untergrund erfolgen können.

Einen **aktuellen Überblick zu geeigneten Verfahren** in Hinblick auf Probenplanung, Probennahme, Probenvorbereitung und Analytik gibt die vom Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU) herausgegebene *Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung* (Version 1.1. mit Stand vom 04.07.2018).<sup>25</sup>

Die **Analytik** der Gesamtgehalte hat dabei nach Anhang 1 der BBodSchV (Anlage 3 MantelV/BBodSchV) oder gleichwertigen Verfahren zu erfolgen, wobei die

**Probennahme  
und Analytik  
Wirkungspfad  
Boden-  
Mensch**

**Methoden-  
sammlung des  
Fachbeirats  
Bodenunter-  
suchungen**

---

<sup>25</sup> [https://www.laga-online.de/documents/methodensammlung-feststoffuntersuchung\\_v1\\_1542197341.1\\_04\\_07\\_2018\\_2](https://www.laga-online.de/documents/methodensammlung-feststoffuntersuchung_v1_1542197341.1_04_07_2018_2)

Gesamtgehalte für die Schwermetalle und Arsen nach Aufschluss durch Königswasser zu ermitteln sind.

Diverse Untersuchungsschritte im Rahmen der **Detailuntersuchung** können an Rückstellproben durchgeführt werden, vorausgesetzt, entsprechende Aufbewahrungsfristen wurden vereinbart und die Probenlagerung wurde fachgerecht durchgeführt. Sofern in den relevanten Analysevorschriften keine Vorgaben zur Probenlagerung genannt sind, können die Angaben zur Lang- und Kurzzeitlagerung von Bodenproben in der DIN ISO 18512 herangezogen werden.

**Rückstell-  
proben**

Dies gilt beispielsweise für die Analytik der Resorptionsverfügbarkeit (vgl. DIN 19738) bei Relevanz des **oralen Aufnahmepfades**. Um methodische Fehler oder Inhomogenitäten der Probe besser erkennen zu können, sollten hierbei auch die Gesamtgehalte der Rückstellproben neu bestimmt werden. In Hinblick auf die Qualitätssicherung dieser Labor-Methode ist darauf zu achten, dass die diesbezüglichen Vorgaben der DIN 19738, wie beispielsweise die Durchführung und Auswertung von Doppelbestimmungen oder ggf. Dreifachbestimmungen sowie die Ermittlung der Gesamtbilanz bereits bei der Vergabe der Analytik berücksichtigt werden. Es ist auch der nicht mobilisierbare Gehalt im Rückstand (Sediment) als Doppelbestimmung zu ermitteln (vgl. *Anhang 3*).

**Resorptions-  
verfügbarkeit  
nach DIN  
19738**

Zur Überprüfung des Schadstoffgehaltes in der Feinkornfraktion < 63 µm wird in der Regel ebenfalls auf Rückstellproben zurückgegriffen. Hier gilt es jedoch zu bedenken, dass gemäß den Vorgaben der BBodSchV zur Überprüfung des Wirkungspfades Boden-Mensch bei Relevanz des **inhalativen Aufnahmepfades** zusätzlich die Bodentiefe 0-2 cm zu beproben und zu untersuchen ist.

**Untersuchung  
der Feinkorn-  
fraktion < 63  
µm**

In den meisten Fällen – wenn keine Vorkenntnisse oder besondere Hinweise auf inhalativ wirksame Stoffe oder immissionsbedingte Einflüsse vorliegen – erfolgt jedoch die Beprobung der Bodenhorizonte 0-10 cm und 10-30 / 10-35 cm, so dass in den meisten Fällen keine Rückstellproben für 0-2 cm vorhanden sind. So ist gutachterlich zu prüfen, ob eine Untersuchung der Feinkornfraktion <63 µm aus Rückstellproben aus 0-10 cm durch die Homogenität oder ggf. Nutzung am Standort zu begründen ist oder ggf. eine erneute Beprobung der Tiefe 0-2 cm erforderlich wird.

Spezielle Hinweise zur Probenplanung, Probennahmetiefe und Durchführung von Bodenproben für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch sind den Arbeits-  
hilfen der LABO (2008; 2017) zu entnehmen. Die Entnahme und Vorbereitung von  
Bodenmaterial speziell für flüchtige Stoffe ist in DIN ISO 22155 geregelt.

**Probennahme  
und Analytik  
für den Wir-  
kungspfad Bo-  
den-Boden-  
luft-Mensch**

Wesentliche Regelungen zur Durchführung von Innenraumluftmessungen basie-  
ren auf einschlägigen Vorschriften (EN ISO 16000-1; VDI 4300<sup>26</sup>) und Ausführun-  
gen der IRK-UBA (2007), die zu beachten sind.

**Innenraumluft-  
messungen**

Bei der Probennahme sind die Vorgaben der BBodSchV für den Wirkungspfad  
Boden-Nutzpflanze zu beachten, wie beispielsweise:

**Probennahme  
für den Wir-  
kungspfad Bo-  
den-Nutz-  
pflanze**

- die Größe der zu beprobenden Flächeneinheit (gesamte Fläche bzw. Teil-  
fläche),
- die Anzahl an repräsentativen Teilproben, die zu einer Mischprobe zusam-  
men zu führen sind
- sowie die zu untersuchenden Bodenhorizonte und Tiefenstufen.

Die Analytik der Pflanzenverfügbarkeit (vgl. DIN 19730) ist - ggf. in Rückstellpro-  
ben - in der Fraktion < 2 mm zu durchzuführen (vgl. Anhang 3). Dabei ist auf eine  
ausreichend niedrige Bestimmungsgrenze (BG) zu achten (höchstens ½ Beurtei-  
lungswert). Falls Regressionsgleichungen für Transferabschätzungen (vgl. Kapi-  
tel 7.2.4) erstellt werden sollen, sind die BG ggf. noch niedriger zu wählen.

**Pflanzenver-  
fügbarkeit  
nach DIN  
19730**

## **10.2. Anforderungen an Gutachten und Auswertungen**

Expositionsabschätzungen sind üblicherweise in die weiteren Sachverhaltser-  
mittlungen im Rahmen der Detailuntersuchung eingebettet. Ein solches Gutach-  
ten zur Detailuntersuchung sollte bestimmten inhaltlichen und formalen Anfor-  
derungen genügen.

**Inhaltliche  
und formale  
Anforderungen**

Ausgehend von den Ergebnissen der orientierenden Untersuchung ist die Ziel-  
stellung der anschließenden Detailuntersuchung zu formulieren.

**Zielstellung**

---

<sup>26</sup> VDI 4300: Technische Regeln zum Messen von Innenraumluftverunreinigungen

Zunächst ist die Untersuchungsfläche zu charakterisieren und das zugrunde gelegte Nutzungsszenario explizit zu benennen und entsprechend zu begründen. Die verwendeten Datengrundlagen inkl. Angabe zu Quelle, Bearbeitungsstand und Maßstab sind zu benennen.

**Standortcharakterisierung**

Das Konzept und die Methodik der durchgeführten Geländeuntersuchungen inkl. Bodenansprache, Probennahmen, Befragungen und Kartierungen sind übersichtlich und nachvollziehbar zu dokumentieren, ebenso die Ergebnisse dieser Erhebungen. Weiterhin sind die Bewertungsansätze in Hinblick auf die durchgeführte Untersuchung inkl. Nennung etwaiger Beurteilungswerte darzustellen.

**Konzept und Methodik**

Die im Rahmen der Detailuntersuchung gewählte Vorgehensweise zur Beantwortung des festgestellten Klärungsbedarfs ist darzustellen und zu begründen. Hierbei ist sowohl die Auswertung in Hinblick auf die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung als ggf. auch die aktuelle Nutzung am Standort darzustellen.

**sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung und ggf. aktuelle Nutzung**

Die zur Anwendung kommenden Verfahren zur Expositionsabschätzung (z.B. Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit, Ermittlung von Bodenaufnahmemengen, Auswertung der Anbaufläche von Nutzpflanzen etc.) sollten dabei explizit benannt werden, gleiches gilt für die Wirkungs- und Aufnahmepfade, auf die sich diese beziehen.

Abweichungen von Regelannahmen der Prüfwertableitung und insbesondere eine in Einzelfällen vorgenommene Änderung der in dieser Arbeitshilfe dargelegten Kappungsgrenzen (z.B. für die Bodenaufnahmerate) sind ausführlich und stichhaltig zu begründen.

**Einzelfallbegründungen**

Die Ergebnisse der Expositionsabschätzung inkl. der Modellannahmen sollten im Gutachten nachvollziehbar dokumentiert sein. Dies beinhaltet auch die Gegenüberstellung der aktuell angenommenen Expositionsbedingungen und der Standardbedingungen des zugrunde gelegten Nutzungsszenarios, ggf. mit Hilfe von Expositionsquotienten. Die Expositionsabschätzung mündet schließlich in der Feststellung, 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.

**Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit**

In *Anhang 5* zu dieser Arbeitshilfe befindet sich eine Mustergliederung für Gutachten zur Expositionsbeurteilung im Rahmen der Detailuntersuchung.

**Muster-  
gliederung  
und  
-abläufe  
Qualitätssi-  
cherung**

Weiterhin sollten die Arbeiten nach dem neusten Stand der Vorschriften und mit der notwendigen Sorgfalt durchgeführt werden, nach Möglichkeit unter der Leitung eines anerkannten Sachverständigen (*vgl. Kapitel 10.3*). Standardarbeitsanweisungen helfen Arbeitsabläufe zu optimieren und nachvollziehbar zu machen.

Ein wichtiger Teil der Qualitätssicherung ist die Plausibilitätsprüfung von Messwerten oder Daten, die im Rahmen von Erhebungen oder Kartierungen gewonnen werden. Diese sind mit Erfahrungswerten und ggf. vorhandenen Hintergrundwerten (*vgl. Kapitel 9.2.3*) oder Daten aus Vorgängerkampagnen abzugleichen. Die Prüfung der Relation von Schadstoffen untereinander stellt einen weiteren Ansatzpunkt zur Qualitätskontrolle dar (Anwendungsbeispiel sind die PAK).

**Plausibilitäts-  
prüfungen**

In *Anhang 1*, Abs. 4.2 der BBodSchV wird bestimmt, dass für die angewendeten Untersuchungsverfahren die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen nach DIN 32645: 05.94 anzugeben sind. Das Bestimmungsverfahren ist so auszuwählen, dass aufgrund der Bestimmungsgrenze die Über- und Unterschreitung der entsprechenden Prüf-, Maßnahmen- und Vorsorgewerte nach *Anhang 2* sicher beurteilt werden kann. Die angewendeten Bestimmungsverfahren sind zu dokumentieren. Dies gilt auch für die in der vorliegenden Arbeitshilfe genannten Beurteilungswerte.

**Bestimmungs-  
grenzen**

Die allgemeine Messunsicherheit ist bei chemischen Bodenuntersuchungen für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und -Altlastenverordnung entsprechend *Anhang 1 (4.2) BBodSchV* anzugeben; Hinweise dazu finden sich in den Vorgaben des Fachbeirates Bodenuntersuchung (FBU 2018).

Bei Mehrfachmessungen sind die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert zu betrachten (*vgl. z.B. DIN 19738*). Generell sollte zu den Messergebnissen selbst auch die Messunsicherheit angegeben werden, um die Güte einer Messung einschätzen zu können (FBU 2008; 2015).

**Mess-  
unsicherheit**

Zum Umgang mit Ergebnisunsicherheiten bei der Über- und Unterschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten wird auf das Forschungsvorhaben FZK 3715 74 2999 0 im UFOPLAN des UBA verwiesen (*vgl. UHLIG et al. 2019*).

**Ergebnis  
unsicher-  
heiten**

Eine weitere Möglichkeit der Qualitätskontrolle stellen Bilanzierungen dar. So muss beispielsweise gemäß DIN 19738 die Summe aus resorptionsverfügbarem Gehalt im Extrakt und nicht resorptionsverfügbarem Gehalt im Rückstand näherungsweise den Gesamtgehalt ergeben (tolerante Abweichung bis 20%).

Sollen Aussagen aus Datenkollektiven abgeleitet werden, ist zunächst ein Mindestumfang der Stichprobe zu beachten, weiterhin die Verteilung der Daten (z.B. in Form von Box-Whisker-Plots). Außerdem sind Ausreißertests sinnvoll, um auffällige Einzelwerte, die zu einer Verzerrung des Gesamtdatenbestands führen, zunächst zu identifizieren und ggf. von den weiteren Betrachtungen auszuklamern.

**Statistische  
Sicherheit**

### **10.3. Anforderungen an Sachverständige**

Gemäß § 18 BBodSchG müssen Sachverständige sowie Untersuchungsstellen in Bezug auf Probennahme und Analytik, die Aufgaben nach dem BBodSchG wahrnehmen, die dazu erforderliche Sachkunde und Zuverlässigkeit besitzen. Zu diesen Aufgaben zählt auch die Durchführung der Detailuntersuchung inkl. der darin integrierten Expositionsabschätzung. Zudem müssen Sachverständige und Untersuchungsstellen über die zur Bearbeitung der Aufgaben notwendige gerätetechnische Ausstattung verfügen. Darüber hinaus "hat der Sachverständige auch diejenigen Voraussetzungen zu erfüllen, die dem Wesen der Sachverständigentätigkeit innewohnen" (LABO 2002).

**Sachverständige  
und  
Untersuchungs-  
stellen**

In Einzelfällen mit speziellen Fragestellungen in Hinblick auf "exotische" Schadstoffe" (vgl. Kapitel 4.1.3) oder ungewöhnliche Nutzungsszenarien mit Nutzergruppen, die nicht dem Standard entsprechen, kann es jedoch notwendig sein, zusätzlich auf die Kompetenz der für den Gesundheits- bzw. Bodenschutz zuständigen Fachämter und -behörden (z.B. Gesundheitsämter) zurückzugreifen.

Die Zulassung der Sachverständigen und Untersuchungsstellen gemäß § 18 BBodSchG erfolgt auf Länderebene. Diese führen aktuelle Listen mit nach § 18 BBodSchG anerkannten Sachverständigen und Untersuchungsstellen.

**Zulassungen**

Unter <https://www.resymesa.de/ReSyMeSa/Allgemein> (**Recherche System Messstellen und Sachverständige**) besteht die Möglichkeit der bundesweiten Recherche nach gemäß § 18 BBodSchG anerkannten Sachverständigen<sup>27</sup> und Untersuchungsstellen.

**Kurz gesagt:**

***Der Kern eines Gutachtens zur Expositionsabschätzung ist die Erfassung und die Auswertung der Expositionsbedingungen, deren Abgleich mit den Annahmen des zugrunde gelegten Nutzungsszenarios sowie die Beantwortung der Frage, ob der nach der orientierenden Untersuchung bestätigte Gefahrenverdacht letztlich ausgeräumt werden kann, oder eine Gefahr festzustellen ist.***

***Die angewendeten Verfahren sollen anerkannt sein und die Regeln der Qualitätssicherung beachtet werden. Transparenz und Verständlichkeit sind wichtige Kriterien für die Güte der Darstellung.***

***Die Durchführung der Arbeiten sollte in der Hand von Sachverständigen und Untersuchungsstellen nach § 18 BBodSchG liegen, wobei in Einzelfällen mit speziellen Fragestellungen auch anderweitiger Sachverstand insbesondere aus dem Gesundheits- und Bodenschutz heranzuziehen ist.***

Bielefeld, den 12.12.2019

Monika Machtolf  
(Dipl. Oec. troph.)

Gerald Krüger  
(Dipl.-Geoökol.)

Dr. Dietmar Barkowski  
(Dipl.-Chem.)

---

<sup>27</sup> Sachverständige für Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Pflanze/Vorsorge zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden und beim Auf- und Einbringen von Materialien (Sachgebiet 3) und Sachverständige für Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Sachgebiet 4)

## Literatur

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, der Arbeitsgruppe Boden, 5. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- AGLMB (ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LEITENDEN MEDIZINAL-BEAMTINNEN, -BEAMTEN DER LÄNDER) (1995): Standards zur Expositionsabschätzung, Bericht des Ausschusses für Umwelthygiene (Behörde für Arbeit Gesundheit und Soziales, Hrsg.), Hamburg
- AHU & IFUA (AHU - BÜRO FÜR HYDROGEOLOGIE, und UMWELT GMBH IFUA-INSTITUT FÜR UMWELT-ANALYSE GMBH (1992): Gefährdungsabschätzung der Altlastverdachtsfläche Varresbecker Bach in Wuppertal-Varresbeck, im Auftrag der Stadt Wuppertal
- AIR (AUSSCHUSSES FÜR INNENRAUMRICHTWERTE DES UMWELTBUNDESAMTES) (2015): Gesundheitliche Bewertung krebserzeugender Verunreinigungen der Innenraumluft – erste Ergänzung zum Basisschema. Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. Bundesgesundheitsblatt, (58), S.769–773
- BauGB (2004): Baugesetzbuch, in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585)
- BauNVO (2017): Baunutzungsverordnung, Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke; in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786)
- BBodSchG (1998): Bundes-Bodenschutzgesetz; Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. BGBl, I G 5702 Nr. 6 vom 24.03.98, S.502-510
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. BGBl I 1999, 1554
- BBodSchVa (1999): Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 18. Juni 1999. Bundesanzeiger, Band 51, Heft 161a, S.1-39
- BKleingG (Bundeskleingartengesetz) (1983): Bundeskleingartengesetz vom 28. Februar 1983 (BGBl. I S. 210), das zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 19. September 2006 (BGBl. I S. 2146) geändert worden ist
- BLUME, H.P. (2004): Handbuch des Bodenschutzes, 3. Auflage, ecomed Verlag, Landsberg a. Lech.

- CONRAD, A.; HOOPMANN, M.; TWARDELLA, D. (2014): Mischexpositionen und Kombinationswirkungen – Arbeitskreis diskutiert aktuelle Fragen aus der Sicht von Umwelt & Gesundheit. UMID 2 /2014, S. 55-57. Online: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/workshop\\_mischexpositionen\\_55-57.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/workshop_mischexpositionen_55-57.pdf)
- DELSCHEN, T. (1998): Pfadintegrierende Bewertung von Bodenbelastungen in Haus- und Kleingärten. Teil 2: Prüfwerte für das Nutzungsszenario „Wohngärten“. Altlasten Spektrum Heft 6, S. 336 - 342
- DELSCHEN, T., HEMBROCK-HEGER, A., LEISNER-SAABER, J., SOPCZACK, D (1999): Verhalten von PAK im System Boden/Pflanze: PAK-Belastung von Kulturpflanzen über den Luft-/Bodenpfad; UWSF-Z, Umweltchem. Ökotox., 11, 2; S. 79-87
- DELSCHEN, T., KÖNIG, W. (1998): Untersuchung und Beurteilung der Schadstoffbelastung von Kulturböden in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Pflanze, in: Handbuch Bodenschutz (Rosenkranz, Einsele und Haress, Hrsg.), 3550, Erich Schmidt Verlag
- DELSCHEN, T., LEISNER-SAABER, J. (1998): Selbstversorgung mit Gemüse aus Schwermetall-belasteten Gärten: Eine Gefährdungsabschätzung auf toxikologischer Basis, Bodenschutz 1, S. 17-20
- DELSCHEN, TH.; BERTGES, W.-D.; LEISNER-SAABER; J. (2006): Bewertung von Schadstoffbelastungen auf Sport- und Bolzplätzen nach Maßstäben des Bodenschutzrechtes. Bodenschutz, Heft 2, S. 44-48
- DEWILD, J.F.; OLUND, S.D.; OLSON, M.L.; TATE, M.T. (2004): Methods for the preparation and analysis of solids and suspended solids for methylmercury; Chapter 7 of Book 5 Laboratory Analysis, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia
- DIN EN 13725 (2003-07): Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie
- DIN 15800 (2004): Bodenbeschaffenheit – Charakterisierung von Böden in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch; Beuth-Verlag, Berlin
- DIN 19683-2 (1973-04): Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat; Beuth-Verlag, Berlin
- DIN 19730 (1997-06; aktualisierte Fassung 2009-07): Bodenbeschaffenheit – Extraktion von Spurenelementen aus Böden mit Ammoniumnitratlösung; Beuth-Verlag, Berlin
- DIN 19734 (1999-1): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von Chrom (VI) in phosphatgepufferter Lösung; Beuth-Verlag, Berlin

- DIN 19738 (2017-06): Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial; Beuth-Verlag, Berlin
- DIN 32645 (2008-11): Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholungsbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung; ; Beuth-Verlag, Berlin
- DIN 38405-13 (2006-11): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Anionen (Gruppe D) - Teil 13: Bestimmung von Cyaniden (D 13); Ausgabe 2006-11
- DIN EN ISO 17892-4 (2017-04): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung (ISO 17892-4:2016); Deutsche Fassung EN ISO 17892-4:2016
- DIN EN ISO 22155 (2016-07): Bodenbeschaffenheit – Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether – Statisches Dampfraum-Verfahren; Beuth-Verlag, Berlin
- DIN ISO 11277 (2002-08): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden – Verfahren mittels Siebung und Sedimentation; Beuth-Verlag, Berlin
- DIN ISO 18512 (2009-03): Bodenbeschaffenheit – Anleitung für die Lang- und Kurzzeitlagerung von Bodenproben; Beuth-Verlag, Berlin
- EFSA (EUROPEAN FOOD AND SAFETY AUTHORITY) (2015): Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of nickel in food and drinking water. EFSA Journal 2015; 13(2):4002. Online: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2015.4002>
- EIKMANN, T.; BRAMMERTZ, A.; EIKMANN S. (1993): Kriterien zur Beurteilung der inhalativen Aufnahme von Schadstoffen aus dem Boden - Beispiel: Kontamination von Sport- und Bolzplätzen. In: ROSENKRANZ; EINSELE; HARESS [Hrsg.]: Handbuch Bodenschutz, Kapitel 3595, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- EIKMANN. T., HEINRICH, U., HEINZOW, B. (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung, Berlin: Erich Schmidt Verlag 1999ff. Loseblattsammlung mit Ergänzungen
- EN ISO 16000-1: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probennehmestrategie; Beuth-Verlag, Berlin
- EU (EUROPÄISCHE UNION) (2012): Kombinationswirkungen von Chemikalien Chemische Mischungen: MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DEN RAT. Online:

<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2012/DE/1-2012-252-DE-F1-1.Pdf>

- FBU (FACHBEIRAT BODENUNTERSUCHUNGEN) (2008): Angaben der Messunsicherheit bei chemischen Bodenuntersuchungen für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. FBU Arbeitsgruppe „Qualitätssicherung und Ergebnisunsicherheit für Bodenuntersuchungsverfahren“. Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3511.pdf>
- FBU (FACHBEIRAT BODENUNTERSUCHUNGEN) (2015): Messunsicherheit für Verfahren zum Vollzug und zur Weiterentwicklung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/messunsicherheit-bbodschv.pdf>
- FBU (FACHBEIRAT BODENUNTERSUCHUNGEN) LAGA Forum Abfalluntersuchung (2018): Methodensammlung Feststoffuntersuchung Version 1.1, Stand 04.07.2018. Online: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/methosa\\_fu\\_v1\\_1\\_18-11-06\\_online\\_laga\\_fbu.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/methosa_fu_v1_1_18-11-06_online_laga_fbu.pdf)
- FIBL (FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU) (2012): Merkblatt Pestizidrückstände in Kürbisgewächsen. – Frick, Schweiz
- HEMPEL, M. (1993): Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Gefährdungsabschätzung quecksilberkontaminierter Standorte, Promotionsarbeit.
- HEMPFLING, R., DOETSCH, P. (1997): Wissenschaftliche Begleitung und Fortentwicklung eines Gefährdungsabschätzungsmodells für Altlasten - UMS-System zur Altlastenbeurteilung - Abschlußbericht - ARGE Fresenius-focon. F&E Vorhaben 109 01 215, im Auftrag des Umweltbundesamtes
- HÜLSTER, A.; MÜLLER, J.; MARSCHNER, H. (1994): Soil-Plant Transfer of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans to Vegetables of the Cucumber Family (Cucurbitaceae). Environmental Science & Technology, Vol. 28, Issue 6, S. 1110-1115
- IFUA (IFUA-PROJEKT-GMBH) (2005): Ehemalige Zündhütchenfabrik im Kleingartengebiet „Am Ihlpohl“ – Abschließende Gefährdungsabschätzung; Gutachten im Auftrag der ThyssenKrupp Real Estate GmbH, Essen; unveröffentlicht
- IFUA (IFUA-PROJEKT-GMBH) (2007): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Lengerich-Außen- und Innenbereich -Abschlussbericht im Auftrag des Kreises Steinfurt (unveröffentlicht)
- IRK-UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Bauschema. Bundesgesundheitsblatt, Band 11, S. 422-426

- IRK-UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2007): Beurteilung von Innenraumluftkonzentrationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt, (50), S.990-1005. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/Handreichung.pdf>
- IRK-UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2012): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt, (55), S.279–290
- IRK-UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2014): Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten. Entwurf der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden zur öffentlichen Diskussion bis Ende Dezember 2015. Bundesgesundheitsblatt, (57), S.148–153
- KAISER, D. B. (2010): Genormte Methoden und ihre Anwendung. Vortrag im Rahmen des Workshops für Praxisvertreter „Berücksichtigung der Bioverfügbarkeit bei der Untersuchung und Bewertung von Böden und Altlasten“ am 18.11.2010 bei der Landesvertretung Sachsen-Anhalt in Berlin
- KNOCHE, H.; BRAND, P.; VIERECK-GÖTTE, L. (1999): Schwermetalltransfer Boden - Pflanze, Ergebnisse der Auswertungen hinsichtlich der Königswasser - Ammoniumnitrat-Extraktion anhand der Datenbank TRANSFER. UBA-Texte 11/99
- KODAMATANI, H.; MAEDA, C.; BALOGH, S.; NOLLET, Y.H.; KANZAKI, R.; TOMIYASU, T. (2017): The influence of sample drying and storage conditions on methylmercury determination in soils and sediments; Chemosphere Vol 173, 380-386
- KONIETZKA, R.; DIETER, H. (1998): Ermittlung gefahrenbezogener chronischer Schadstoffzufuhrdosen zur Gefahrenabwehr beim Wirkungspfad Boden-Mensch. Kennzahl 3530, 27. Erg.Lfg. X/98. In: ROSENKRANZ D.; BACHMANN G.; EINSELE G.; HARRESS H. [Hrsg.]: Handbuch Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Band 2, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- KORTENKAMP, A.; BACKHAUS, T, FAUST, M. (2009): State of the Art Report on Mixture Toxicity. Final Report, Executive Summary Online. [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/effects/pdf/report\\_mixture\\_toxicity.pdf](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/effects/pdf/report_mixture_toxicity.pdf)
- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V.) (1991): KTBL - Datensammlung Haushalt, 4. Auflage

- KÜHLING, W. (2014): Mehrfachbelastungen in: UVP-Gesellschaft e.V. / AG Menschliche Gesundheit (Hrsg.): Leitlinien Schutzgut Menschliche Gesundheit, S. 162-168, Hamm 2014
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2002): Arbeitshilfe Qualitätssicherung
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2003a): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2006): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten – Informationsblatt für den Vollzug. Stand: 01.09.2008; <http://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen.html>
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2013): Arbeitshilfe Arsentransfer aus Böden in Nahrungs- und Futterpflanzen – Gefahrenbeurteilung und Maßnahmen. Stand: 15.05.2013; [https://www.labo-deutschland.de/documents/2013-09-03\\_LABO-Arbeitshilfe\\_Arsentranfer.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/2013-09-03_LABO-Arbeitshilfe_Arsentranfer.pdf)
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2017): Bewertung von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch bei einer potentiellen Belastung über Boden, Bodenluft und Innenraumlufte Eine LABO-Hilfestellung für den Vollzug beschlossen auf der 52. LABO-Sitzung am 13. September 2017 in Öhningen Ständiger Ausschuss „Altlasten“ (ALA); [https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO\\_MKW-Bewertung\\_2017\\_12.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_MKW-Bewertung_2017_12.pdf)
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) ad-hoc AG „Schwermetalltransfer Boden/Pflanze“ der AG „Bodenbelastung“ (1998): Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Bodenverunreinigungen/Altlasten – Pflanze; in: ROSENKRANZ; EINSELE; HARESS [Hrsg.]: Handbuch Bodenschutz, Kapitel 9009, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- LANUV (LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ Nordrhein-Westfalen) (2007): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten Teil II: Siedlungsbereiche; LANUV-Arbeitsblatt 1
- LANUV (LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ Nordrhein-Westfalen) (2014): Weitere Sachverhaltsermittlungen bei Überschreitung von Prüfwerten nach BBodSchV für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze; LANUV-Arbeitsblatt 22
- LANUV (LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ Nordrhein-Westfalen) (2015): Probenahme von Nahrungspflanzen zur Prüfung, ob

selbst angebautes Gemüse nach immissionsbedingten Einträgen verzehrt werden darf. LANUV-Arbeitsblatt 31

LD Sachsen (2011): Verordnung der Landesdirektion Chemnitz zur Festlegung des Bodenplanungsgebietes „Raum Freiberg“ vom 10.05.2011; Sächs. Gesetz- u. Verordnungsblatt Nr. 6/2011 inkl. Kartenwerk und Erläuterungstext; [https://www.lids.sachsen.de/umwelt/?ID=5067&art\\_param=452](https://www.lids.sachsen.de/umwelt/?ID=5067&art_param=452)

LFU BW (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ Baden-Württemberg) (1998): Literaturstudie zum Transfer von organischen Schadstoffen im System Boden/Pflanze und Boden/Sickerwasser, Karlsruhe

LFU BW (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ Baden-Württemberg) (2001): Arbeitshilfe zur Bearbeitung von Verdachtsflächen/altlastverdächtigen Flächen und schädlichen Bodenveränderungen/Altlasten nach BBodSchG

LfU BW (LANDESANSTALT FÜR UMWELT Baden-Württemberg) (2011): Arbeitshilfe zum Umgang mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten im Boden

LFU BY (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ) (2002): Merkblatt: Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen – Wirkungspfad Boden – Mensch (direkter Kontakt) – LfU-Merkblatt Altlasten 1. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg

LFU BY (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2009): Hinweise zur Untersuchung und Bewertung von flüchtigen Stoffen bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch; LfU Merkblatt Altlasten 2

LfUG (LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE Sachsen) (2006): Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Bodenschutzrechtes in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten; Materialien Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden

LfUG (LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE Sachsen) (2007): Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zur flächenhaften Darstellung und Beurteilung von Schadstoffen in sächsischen Böden; Materialien zum Bodenschutz; Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden

LfUG (LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE Sachsen) (2012): Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung. Online: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13520>

LfUG (LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE Sachsen) (2014): Detailuntersuchung; Handbuch zur Altlastenbehandlung Teil 7; 2003; z.T. aktualisiert 2006 und 2014

- LfULG (LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE Sachsen) (2019): Prognosemodell zur Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit; kostenfreie Bereitstellung im Excel-Format unter <https://www.boden.sachsen.de/abschätzung-der-resorptionsverfügbarkeit-22452.html>
- LfULG (LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE Sachsen) (2015): Bewertungshilfen bei der Gefahrenermittlung in der Altlastenbehandlung
- LGA S-H Kiel (2005): Organische Zinnverbindungen in Strandsand. Ableitung von Richtwerten zur Gefährdungsabschätzung und gesundheitlichen Beurteilung von Bodenkontaminationen mit organischen Zinnverbindungen. Stellungnahme und Vorschlag der norddeutschen Arbeitsgruppe (HB, HH, MVP, NS, SH) unter Beteiligung des Umweltbundesamtes
- LIEBE, F., WELP, G., BRÜMMER, G. W. (1997): Mobilität anorganischer Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens, Landesumweltamt NRW (Hrsg.), Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 2, Essen
- LITZ, N, WILCKE, W., WILKE, B.-M. (Hrsg.) (2004): Bodengefährdende Stoffe: Bewertung, Stoffdaten, Ökotoxikologie, Sanierung; ergänzbare Loseblattsammlung; WILEY-VCH Verlag, Weinheim
- LUA BB (LANDESUMWELTAMT Brandenburg) (2003): Untersuchung und Bewertung von altlastverdächtigen Flächen und Verdachtsflächen - Wirkungspfad Boden-Pflanze-Tier; Fachbeiträge des LUA, Heft 81; Bodenschutz und Altlastenbearbeitung 2
- LUA BB (LANDESUMWELTAMT Brandenburg) (2010): Leitfaden zur Detailuntersuchung für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze
- LUA NRW (LANDESUMWELTAMT Nordrhein-Westfalen) (1998): Beurteilung von Bodenergebnissen bezüglich Thallium im Bereich des Bebauungsplanes Nr. 41 „Enge Gasse“ in Lengerich. Schriftliche Mitteilung des Landesumweltamtes NRW, Essen vom 26.01.1998 (unveröffentlicht), Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
- LUA NRW (LANDESUMWELTAMT Nordrhein-Westfalen) (2001): Verzehrstudie in Kleingärten im Rhein-Ruhrgebiet. In: LUA (LANDESUMWELTAMT NRW) [Hrsg.]: Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 14
- LUA NRW (LANDESUMWELTAMT Nordrhein-Westfalen) (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Oberböden Nordrhein-Westfalens – Auswertung aus dem Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo)
- LUA NRW (LANDESUMWELTAMT Nordrhein-Westfalen) (2005): Abschätzung der Schwermetallmobilität in nordrhein-westfälischen Böden, Essen 28.01.2005; <http://www.lua.nrw.de/> unter Umweltthema Boden

- LÜBBEN, S., SAUERBECK, D. (1991): Transferfaktoren und Transferkoeffizienten für den Schwermetallübergang Boden - Pflanze Auswirkung von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen, Band FKZ 0339059, BMFT-Verbundvorhaben
- LUBW (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ; MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ Baden-Württemberg) (2011): Arbeitshilfe zum Umgang mit großflächigen erhöhten Schadstoffgehalten im Boden
- MantelV/BBodSchV (2017): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung - Artikel 2: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV. BT-Drucksache 18/12213 vom 03.05.2017
- MEKEL, O.; MOSBACH-SCHULZ, O.; SCHÜMANN, M.; et al. (2007a): Evaluation von Standards und Modellen zur probabilistischen Expositionsabschätzung Teil 1: Grundlagen der bevölkerungsbezogenen Expositionsmodellierung. WaBoLu-Hefte, Nr. 02/2007. UBA-FBNr: 001073/1, Förderkennzeichen: 202 61 218/02, Umweltbundesamt
- MEKEL, O.; MOSBACH-SCHULZ, O.; SCHÜMANN, M.; et al. (2007b): Evaluation von Standards und Modellen zur probabilistischen Expositionsabschätzung Teil 2: Empfehlungen für Expositionsfaktoren. WaBoLu-Hefte, Nr. 03/2007. UBA-FBNr: 001073/2, Förderkennzeichen: 202 61 218/02, Umweltbundesamt
- MEKEL, O.; MOSBACH-SCHULZ, O.; SCHÜMANN, M.; et al. (2007c): Evaluation von Standards und Modellen zur probabilistischen Expositionsabschätzung Teil 3: Szenarien. WaBoLu-Hefte, Nr. 04/2007. UBA-FBNr: 001073/3, Förderkennzeichen: 202 61 218/02, Umweltbundesamt
- MEKEL, O.; MOSBACH-SCHULZ, O.; SCHÜMANN, M.; et al. (2007d): Evaluation von Standards und Modellen zur probabilistischen Expositionsabschätzung Anhang. WaBoLu-Hefte, Nr. 05/2007. UBA-FBNr: 001073/ANH, Förderkennzeichen: 202 61 218/02, Umweltbundesamt
- MÜLLER, I.; KARDEL, K.; SCHÜRER, S. (2019): Auswertungen zur Resorptionsverfügbarkeit bei großflächigen Bodenbelastungen in Sachsen; Tagungsband 8. Sächsisch-Thüringische Bodenschutztage, 19.-20.06.2019, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg).
- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW) (2004): Leitfaden zur Ausweisung von Bodenschutzgebieten
- PRÜESS, A. (1992): Vorsorgewerte und Prüfwerte für mobile und mobilisierbare, potentiell ökotoxische Spurenelemente in Böden, Verlag Ulrich E. Grauer.

- REESE, S (2018): Wirkung von Zuschlagstoffen auf die Pflanzenverfügbarkeit von Organochlorpestiziden in Gewächshausböden. Masterarbeit am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, unveröffentlicht
- RefXP (2011): Datenbank RefXP für Expositionsfaktoren, entwickelt im Rahmen des „Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit“ (APUG); Umweltbundesamt. Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/www.uba.de/xprob>
- RÜDEL, H.; KÖSTERS, J.; SCHÖRMANN, J. (2011): Bestimmung von Methylquecksilberverbindungen in Umweltproben durch ICP-MS - Richtlinie zur chemischen Analyse. Verfahrensrichtlinien für Probenahme, Transport, Lagerung und chemische Charakterisierung von Umwelt- und Humanproben des Umweltbundesamtes
- SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (2010): Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- SCHULZ, C.; KOLOSSA-GEHRLING, M. (2010): Orientierungswerte – Human-Biomonitoring in: Handbuch der Umweltmedizin (Wichmann, Schlipkötter und Füllgraff, Hrsg.), 44. Erg.Lfg. 12/10, Ecomed, Landsberg/Lech.
- SCHULZ, D. (1992): Dioxine im Boden. In: ROSENKRANZ D.; BACHMANN G.; EINSELE G.; HARRESS H. [Hrsg.]: Handbuch Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Erich Schmidt, Berlin
- SCHUSTER, E. (1991): Quecksilberkontaminierte Böden. Eine Literaturstudie zur Einschätzung des Verhaltens von Quecksilber und seinen Verbindungen, Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen
- TRAPP, S., MATTHIES, M. (1994a): Transfer von PCDD/F und anderen organischen Umweltchemikalien im System Boden-Pflanze-Luft; UWSF - Zeitschrift für Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 6 (1), S. 31-40
- TRAPP, S., MATTHIES, M. (1994b): Transfer von PCDD/F und anderen organischen Umweltchemikalien im System Boden-Pflanze-Luft; UWSF - Zeitschrift für Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 6 (3), S. 157-163
- TRGS 403 (1989/2008): Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz, Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) (BArbBl. 10/1989 S. 71; GMBI 12.06.2008)
- U.S. EPA (2011): Exposure Factors Handbook [https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/project/page/project\\_id/1854/startrow/1/recordsperpage/10/sort/author%20asc/filtercondition/or/usage\\_id/1204](https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/project/page/project_id/1854/startrow/1/recordsperpage/10/sort/author%20asc/filtercondition/or/usage_id/1204)

- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2002): Erhebungsuntersuchungen zum Transfer organischer Schadstoffe vom Boden in Nahrungs- und Futterpflanzen und Ableitung von Prüfwerten nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz. UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT Forschungsbericht 299 73 298 UBA-FB 000286. . UBA-Texte 50/2002. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2201.pdf>
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2004): Chromverbindungen. In: Überprüfung der Stoffe der WGK 0 und 1 hinsichtlich der Bodengefährdung und Beschreibung der bodengefährdenden Eigenschaften dieser und weiterer, nicht eingestufte Stoffe. Forschungsbericht, erstellt von TRITON (1997), veröffentlicht unter: [www.umweltbundesamt.de/fwbs/themen/fue/riton/ux1542.htm](http://www.umweltbundesamt.de/fwbs/themen/fue/riton/ux1542.htm)
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2005): Kommission Human-Biomonitoring - Definitionen zu HBM- und Referenzwerten. Veröffentlicht im Internet, online, unter: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/monitor/definitionen.htm>
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2009b): Kommission „Human-Biomonitoring – 2. Addendum zur Stoffmonographie Blei – Referenz- und „Human-Biomonitoring“-Werte der Kommission Human-Biomonitoring. Bundesgesundheitsblatt, Band 52, Heft 10, S. 983-986
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2011): Evaluierung vorhandener Bewertungsansätze und Entwicklung eines Konzeptes zur integrierten Wirkungsbewertung prioritärer Schadstoffe über alle Pfade auf der Grundlage der Bioverfügbarkeit. UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT Forschungskennzahl 3708 72 200 UBA-FB 001495. UBA-Texte 59/2011. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4172.pdf>
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2011a): Aktualisierung der Stoffmonographie Cadmium – Referenz- und Human-Biomonitoring (HBM)-Werte. Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz Bd. 54, Heft 8, S. 981-996
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2018): Humanbiomonitoring. Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/human-biomonitoring>
- UHLIG, S.; BALDAUF, H.; FROST, K. et al. (2019): Handlungsanleitung zum Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Über- und Unterschreitung von Prüf- und Maß-

nahmenwerten für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. UFOPLAN 3715 74 299 0. Online: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/2019-01-22\\_handlungsanleitung\\_messunsicherheit\\_bbodschv\\_final\\_3\\_002.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/2019-01-22_handlungsanleitung_messunsicherheit_bbodschv_final_3_002.pdf)

VERORDNUNG (EG) Nr. 1881/2006 DER KOMMISSION vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Amtsblatt der Europäischen Union, L 364/5; zuletzt geändert durch EU Nr. 420/2011 vom 29.04.2011; L 111/3

VERORDNUNG (EG) NR. 2002/32/EG (mit den Neuregelungen für Blei und Quecksilber aus EU 2017/2229) vom 25.12.2017: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02002L0032-20171225&rid=15>

VOGT, L. (2007): Wirkung von Aktivkohle im Boden auf die Dieldrinaufnahme von Gurkenfrüchten. Diplomarbeit an der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, unveröffentlicht

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BODENSCHUTZ BEIM BMU (2001): Empfehlungen des Wissenschaftlichen Beirates Bodenschutz zu den Prüfwert-Vorschlägen zu B(a)p (für PAK) und Naphthalin. Altlasten Spektrum, Heft 1, 40-41

ZEBS (ZENTRALE ERFASSUNGS- UND BEWERTUNGSSTELLE FÜR UMWELTCHEMIKALIEN) (1997): Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln. Bundesgesundheitsblatt, Heft 5, S. 182-183

ZEDDEL, A. (2001): Hinweise zur Bewertung von Chrom (III) nach der Methodik der BBodSchV für den Direktpfad Boden-Mensch. Altlasten Spektrum 5/2001, 238-243

## Glossar

**aktuelle Nutzung:** zum Zeitpunkt der Untersuchung aktuelle Nutzung der zu untersuchenden Fläche. Diese kann im Einzelfall von der planungsrechtlich zulässigen Nutzung abweichen.

**akute Toxizität:** Giftigkeit eines Stoffes bei einmaliger oder mehrfacher Aufnahme innerhalb kurzer Zeit.

**Aufenthaltsdauer (AD):** Aufenthaltsdauer auf der zu untersuchenden Fläche in Stunden pro Tag.

**Aufenthaltshäufigkeit (AF):** Anzahl an Tagen im Jahr, an denen sich die sensibelste betrachtete Bevölkerungsgruppe (i.d.R. Kinder) auf der Fläche aufhält.

**Aufnahmepfad:** Beschreibt die Aufnahmewege (oral, inhalativ, dermal), über die Stoffe in den menschlichen Organismus gelangen können.

**Beurteilungswerte (BW):** werden im Rahmen von Expositionsabschätzungen unter Berücksichtigung boden- und/oder nutzungsabhängiger Expositionsbedingungen im Einzelfall abgeleitet und verstehen sich als Maßnahmenwerte. Für großflächige Bodenbelastungen werden gebietsbezogene Beurteilungswerte (gBW) (s. dort) unterschieden.

**Bioverfügbarkeit:** Anteil eines Schadstoffes, der im menschlichen Organismus absorbiert werden kann und den systemischen Kreislauf (Blutkreislauf) erreicht oder für den Austausch zwischen biologischen Systemen zur Verfügung steht.

**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.

**Bodenaufnahmemenge (BA):** Die Menge Boden, die im Rahmen von (Spiel-)aktivitäten an einem Tag verschluckt wird.

**Chronische Toxizität:** Giftigkeit eines Stoffes bei wiederholter oder kontinuierlicher Aufnahme über einen längeren Zeitraum.

**Deposition** (atmosphärische): Stoffflüsse aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche, d.h. Austrag und Ablagerung von gelösten, partikelgebundenen oder gasförmigen Luftinhaltsstoffen auf biotischer oder abiotischer Oberflächen.

**Expositionsabschätzung:** Abschätzung der verfügbaren Menge eines Stoffes, denen ein Mensch unter den Bedingungen des betrachteten Einzelfalls ausgesetzt sein kann. Sie ist Grundlage der abschließenden Gefährdungsabschätzung

**Expositionsbedingungen:** Durch örtliche Gegebenheiten und die Grundstücksnutzung im Einzelfall geprägte Art und Weise, in der Schutzgüter der Wirkung von Schadstoffen ausgesetzt sein können (§ 2 Nr. 7 BBodSchV).

**Expositionsquotient (EQ):** Relation von aktuellen Expositionsbedingungen am Standort zu den Standardexpositionsbedingungen des zugrundeliegenden Nutzungsszenarios, z.B. in Hinblick auf die Bodenaufnahmemenge (BA), der Aufenthaltshäufigkeit (AH) und Aufenthaltsdauer (AD) oder der Anbaufläche (AF) für selbstangebaute Nahrungspflanzen

$$\text{Expositionsquotient[EQ]} = \frac{\text{Exposition}_{\text{aktuell}}}{\text{Exposition}_{\text{Standardannahme}}}$$

**Feinboden:** Bei der Kennzeichnung der Gesamtbodenart wird zwischen den Kornfraktionen des Feinbodens (< 2 mm Durchmesser) und des Grobbodens (≥ 2 mm Durchmesser) unterschieden. Die Kornfraktionen des Feinbodens werden gemäß ihres Durchmessers weiter unterteilt in Ton (<0,002 mm); Schluff (0,002 - < 0,063 mm) und Sand (0,063 - < 2 mm).

**Feinkornfraktion <63 µm:** Humantoxikologisch bedeutsame, lungengängige Fraktion sind Partikel mit einem Durchmesser von < 10 µm (PM10) (vgl. EIKMANN et al. 1993; HEMPFLING et al. 1997; AGLMB 1995). Aus labortechnischen Gründen wird auf die Analytik der Feinkornfraktion < 63 µm des Bodens zurückgegriffen (DIN EN ISO 17892-4 bzw. DIN ISO 11277).

**Beurteilungswerte für die aktuelle Nutzung (BW<sub>a</sub>):** abgeleitete gefahrenbezogene Kennwerte, bei deren Überschreiten durch Schadstoffe im Boden für die am Standort festgestellten aktuellen nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind.

$$\text{Beurteilungswert}_{\text{aktuell}}[\text{BW}_a] = \frac{\text{Beurteilungswert}_{\text{Standard}}(\text{BW}_s)}{\text{Expositionsquotient (EQ)}}$$

**Beurteilungswerte für die sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung (BWs):** abgeleitete gefahrenbezogene Kennwerte, bei deren Überschreiten durch Schadstoffe im Boden für das am Standort festgelegte sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzungsszenario unter Standardannahmen und bodenabhängigen Expositionsbedingungen in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind. Je nach Schadstoff ist dazu der für diesen Parameter sensiblere Aufnahmepfad (oral, inhalativ, dermal) zugrunde zu legen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass diese Beurteilungswerte je nach Aufnahmepfad und Schadstoff einen unterschiedlichen Bezug haben: Gesamtgehalte, resorptionsverfügbare Gehalte, pflanzenverfügbare Gehalte, Gehalte in der Feinkornfraktion < 63 µm oder Gehalte an bestimmten Spezies (z.B. Cr VI) etc.

**gebietsbezogene Beurteilungswerte (gBW):** statistisch abgeleitete Kennwerte zur gebietspezifischen Exposition, bei deren Überschreiten für ein bestimmtes Nutzungsszenario auf Basis der im Rahmen einer gebietsbezogenen Detailuntersuchung ermittelten Expositionsbedingungen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und ggf. Maßnahmen erforderlich sind (s. Kap. 9.3.3). **Gefahr:** Im Verwaltungsrecht liegt eine Gefahr vor, „wenn eine Sachlage oder ein Verhalten bei ungehindertem Ablauf des objektiv zu erwartenden Geschehens in absehbarer Zeit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein polizeilich geschütztes Rechtsgut schädigen wird“. (Bundesverwaltungsgericht, Entscheidung 45, 51, 57 vom 18. Juli 2014). In der Altlastenbearbeitung wird darunter die Fähigkeit einer Substanz oder Situation verstanden, unter den konkreten Randbedingungen des Einzelfalls einen Schaden („nicht unerhebliche Rechtsgutverletzung“) zu verursachen.

**Gefahrenbezug:** Der Gefahrenbezug quantifiziert die hinreichende Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts, die notwendig ist, wenn die Datenbasis zur Bewertung gesundheitlicher Wirkungen auf „praktisch sicheren Dosen“ (bei kanzerogenen auf dem „akzeptablen zusätzlichen Risiko“) für empfindliche Personengruppen der Allgemeinbevölkerung beruht.

**Gefahrenverdacht:** Beim Gefahrenverdacht liegen objektive Anhaltspunkte für eine Gefahr vor, die für eine endgültige Beurteilung zu verifizieren sind.

**Gesamtgehalt:** Gehalt eines Analyten in einer Probe, der mit einem weitgehend erschöpfenden Extraktionsverfahren gemessen wurde, z. B. nach Königswasser-Aufschluss (Schwermetalle) oder Lösemittlextraktion (Organika).

**Hausgarten:** Die Verwendung des Begriffes ‚Hausgarten‘ in der BBodSchV ist mehrdeutig. Für die Bewertung des Wirkungspfad es Boden-Mensch (direkter Kontakt) wird im Anhang 2, 1.1 in der Erläuterung des Begriffes ‚Wohngebiet‘ u.a. auch auf Hausgärten verwiesen, soweit – wie einschränkend ausgeführt – diese nicht als Kinderspielflächen anzusprechen sind. Auch bezüglich des Wirkungspfad es Boden-Nutzpflanze wird in Anhang 2, 2.1 auf Hausgärten verwiesen. Die mit der Fußnote der Prüfwertetabelle zu 1.4. des Anhang 2 BBodSchV verbundene Sonderregelung zur integrativen Beurteilung von Cadmium in Haus und Kleingärten ist mit der Möglichkeit begründet, dass manche Gärten sowohl für den Nahrungspflanzenanbau genutzt werden als auch als Kinderspielfläche dienen. In diesen Fällen sieht die BBodSchV eine additive Bewertung beider Wirkungspfad e vor. Für die Expositionsabschätzung wird dann zur Berücksichtigung des Teilpfad es „orale Bodenaufnahme spielender Kinder“ i.d.R. eine Bodenaufnahmerate anzusetzen sein, die der Nutzung als „Kinderspielfläche“ entspricht. Die Schadstoffbewertung in Hausgärten ist somit nicht zwingend mit der Anwendung von Wohngebietsprüfwerten verbunden, je nach Gebietscharakteristik (Einfamilienhaus-, Doppelhaus- oder Reihenhausgärten, Abstandsgrün oder Vorgärten) kann es vielmehr notwendig sein, in Hausgärten das Kinderspielszenario und ggf. zusätzlich (und in Kombination) das Nutzgartenszenario anzunehmen (s. auch Nutzgarten).

**Hintergrundexposition:** Die orale Hintergrundexposition des Menschen bezeichnet die Schadstoffaufnahme aus dem Verzehr von gekauften Nahrungsmitteln, die in der Regel nicht lokal begrenzten Ursprungs sind, sondern eine weiträumige Durchschnittsbelastung repräsentieren. Sofern keine lokal spezifische Mehrbelastung des Trinkwassers vorliegt, kann auch der für die Getränke- und Nahrungszubereitung verwendete Wasseranteil mit einer durchschnittlichen Kontamination angenommen und unter der Hintergrundexposition subsummiert werden.

**Hintergrundgehalt:** Schadstoffgehalt eines Bodens, der sich aus dem geogenen (natürlichen) Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden zusammensetzt.

**kanzerogen:** oder karzinogen ist eine Substanz, die Krebs erzeugen kann, ohne dass eine zusätzliche Einwirkung exogener Faktoren notwendig wäre. Ihre Wirkung ist irreversibel.

**konsentiert:** in Fachgremien abgestimmt.

**lokale Wirkung:** insbesondere bei inhalativer Belastung können lokale Wirkungen im Atemtrakt auftreten, so dass sich die Ermittlung einer Körperdosis (vgl. TRD-Wert) nicht als sinnvoll erweist, sondern vielmehr Luftkonzentrationen als sogenannte Referenzkonzentrationen zur Beurteilung heranzuziehen sind.

**Nutzgarten:** Flächen in Wohngebieten und Kleingärten, die aktuell ausschließlich dem Nutzpflanzenanbau dienen und bei denen der Aufenthalt von Kinder ausgeschlossen werden kann.

**Nutzungsszenario:** Ein Nutzungsszenario beschreibt die Nutzung einer Fläche, bei der es bei einer definierten Nutzergruppe zum Kontakt mit dem im Boden enthaltenen Schadstoffen und deren Aufnahme kommen kann.

**nutzungsabhängige Expositionsbedingungen:** Expositionsbedingungen, die durch die spezifische Flächennutzung gegeben sind, wie beispielsweise eine verminderte Bodenaufnahme durch Flächenversiegelung oder Aufenthaltshäufigkeiten bedingt durch die Nutzungsgewohnheiten der Nutzer.

**Pflanzenverfügbarkeit:** Maß der Verfügbarkeit von (Schad-) Stoffen aus dem Boden für die Pflanzen. Als standardisiertes Laborverfahren zur Bestimmung der Verfügbarkeit aller Elementverbindungen eines Bodens wird die Extraktion mit Ammoniumnitrat-Lösung nach DIN 19730 angewandt.

**planungsrechtlich zulässige Nutzung:** eine durch die Bauleitplanung erlaubte Nutzung einer Fläche.

**Resorption:** Prozess der Aufnahme von Stoffen aus dem Darm über die Darmschleimhaut in den Organismus (Blut, Lymphe) während der Verdauung.

**Resorptionsverfügbarkeit:** Mengenanteil eines Stoffes, der nach Verschlucken eines Bodenpartikels im Magen-Darm-Trakt freigesetzt wird und zur Aufnahme in den Organismus (Resorption) zur Verfügung steht. Dieser Vorgang wird durch ein festgelegtes In-vitro-Prüfsystem nach DIN-Norm 19738 simuliert und analysiert.

**Richtwerte** – eigentlich Innenraumrichtwerte werden von dem Ausschuss für Innenraumrichtwerte festgelegt (AIR). Es werden zwei Richtwerte unterschieden:

**Richtwert I (RW I):** beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Aus Gründen der Vorsorge sollte auch im Konzentrationsbereich zwischen Richtwert I und II gehandelt werden, sei es durch technische und bauliche Maßnahmen am Gebäude (handeln muss in diesem Fall der Gebäudebetreiber) oder durch verändertes Nutzerverhalten. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen. Die Richtwerte beziehen sich auf Einzelstoffe und beinhalten keine Aussage über mögliche Kombinationswirkungen verschiedener Substanzen.

**Richtwert II (RW II):** ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen beziehungsweise Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese höhere Konzentration kann, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung bedeuten. Je nach Wirkungsweise des Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder Langzeitwert (RW II L) definiert sein.

**Risiko:** Wahrscheinlichkeit einer schädlichen Auswirkung.

**Risikobewertung:** Erkenntnisse über mögliche schädliche Wirkungen eines Stoffes werden mit der gemessenen oder errechneten Exposition von Mensch und Umwelt in Relation gesetzt, um die Wahrscheinlichkeit einer schädlichen Auswirkung (das Risiko) abzuschätzen. (vgl. [https://www.reachhelpdesk.at/ms/reachhelpdesk\\_home/reachhelpdesk\\_home/reach\\_konsumenteninfo/konsum\\_schutz/gefahr\\_risiko/#1901](https://www.reachhelpdesk.at/ms/reachhelpdesk_home/reachhelpdesk_home/reach_konsumenteninfo/konsum_schutz/gefahr_risiko/#1901))

**Sofortmaßnahmen:** Unverzügliches Handeln, um die Gefahr abzuwehren. In Frage kommen z.B. Absperrmaßnahmen- oder Zutrittsbeschränkungen.

**systemische Aufnahme (medizinisch):** Aufnahme von Substanzen in das Blut- und/oder Lymphsystem des Körpers und Verteilung im gesamten Körper, so dass Wirkungen das gesamte Organsystem bzw. den gesamten Körper betreffen können.

**systemische Aufnahme (Pflanze):** Aufnahme von Substanzen aus dem Bodenwasser über die Wurzeln und Verteilung in der gesamten Pflanze.

**TRD-Wert:** Bezeichnet tolerierbare resorbierte Körperdosen eines Gefahrstoffes, bei denen mit hinreichender Wahrscheinlichkeit bei Einzelstoffbetrachtung nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis keine nachteiligen Effekte auf die menschliche Gesundheit erwartet werden bzw. bei denen nur ein geringes Risiko für Erkrankungen angenommen wird (innere Belastung).

**Toxizität:** Giftigkeit eines Stoffes. Maß für die Fähigkeit eines Stoffes einen exponierten Organismus zu schädigen.

**Wirkungspfad:** Weg eines Schadstoffes von der Schadstoffquelle bis zu dem Ort einer möglichen Wirkung auf ein Schutzgut.

**Zugänglichkeit:** Möglichkeit des Bodenkontaktes unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten (Abdeckung, Bedeckung, Bewuchsdichte, Einzäunung, etc.).

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

A. Hintergrundinformation	
1.	Sind die notwendigen Hintergrundinformationen zur Darlegung des Falles ausreichend dokumentiert? (vgl. Kap. 2) <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span> Anmerkungen:  <input type="checkbox"/> Lage des Untersuchungsgebietes <input type="checkbox"/> Informationen zu Eigentümer, Nutzung, Historie <input type="checkbox"/> Anhaltspunkte für schädliche Bodenveränderung <input type="checkbox"/> Ergebnisse aus der orientierenden Untersuchung
2.	Ist die Fragestellung zur Durchführung der Expositionsabschätzung klar formuliert? (vgl. Kap. 3) <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span>
3.	Sind Zuständigkeiten zur Bearbeitung des Falles geklärt? (vgl. Kap. 2.1) <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span> Wer sind die Zuständigen? Bitte nennen:  Wurden die Zuständigen beteiligt? <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span>
B. Standortcharakterisierung	
1. Schadstoffinventar	
1.1	Ist das Stoffinventar gut / nachvollziehbar charakterisiert? (vgl. Kap. 4.1) <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span> Wenn ja, welche Schadstoffe sind relevant? Bitte nennen:
1.2	Gibt es Hinweise auf <u>weitere Stoffe</u> , die <u>zusätzlich</u> untersucht werden sollen? <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span> Bitte Schadstoffe nennen:
1.3	Sind die Stoffe mit den Vorgaben der BBodSchV oder fachlich gleichwertigen Beurteilungsmaßstäben bewertbar? (vgl. Kap. 4.1.1) <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span> Wenn nein, sind Neubewertungen notwendig? (vgl. Kap. 4.1.2) <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span> Wenn ja, für welche Schadstoffe?
1.4	<b><u>ACHTUNG!</u></b> Sind aufgrund akuter Wirkungen Sofortmaßnahmen zu prüfen? (vgl. Kap. 3.3.2.1) <span style="float: right;">ja <input type="checkbox"/></span> <span style="float: right;">nein <input type="checkbox"/></span> Begründung:

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

<b>B.</b>	<b>Standortcharakterisierung</b>			
<b>2</b>	<b>Charakterisierung der Nutzung</b>			
2.1	Ist das relevante Nutzungsszenario bzw. sind die Nutzungsszenarien benannt und beschrieben? (vgl. Kap. 4.2)			ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
2.2	Bitte die relevanten Szenarien und Wirkungspfade ankreuzen!			
		<b>Wirkungspfad</b>		
		<b>Boden-Mensch (Direktpfad)</b>	<b>Boden-Bodenluft-Mensch</b>	<b>Boden-Nutzpflanze-Mensch</b>
	<b>Kinderspielfläche</b>			
	<b>Wohngebiet</b>			
	<b>Park- und Freizeitanlage</b>			
	<b>Industrie- und Gewerbegrundstück</b>			
	<b>Nutzgarten</b>			
	<b>Haus- und Kleingarten</b>			
	<b>Sport- und Bolzplätze</b>			
	dunkelgrau: nicht relevant;      hellgrau: nur bei entsprechender Bebauung im Umfeld relevant			
2.3	Gibt es deutliche Abweichungen von den Standardnutzungsszenarien? Wenn ja, welche? (vgl. Kap. 4.3)			ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
2.4	Müssen neue Szenarien definiert werden? (vgl. Kap. 9.2.1) Wenn ja, bitte beschreiben?			ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

C.	Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad)			
1.	Ist der Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad) relevant? (vgl. Kap. 5) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> <b>Wenn nein, weiter mit dem nächsten Wirkungspfad!!</b>			
2.	Wenn ja, welches sind die beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfade für die relevanten Schadstoffe? Bitte Schadstoffe nach relevanten Aufnahmepfaden eintragen. (vgl. Kap. 5.1)			
	Aufnahmepfade			
	oral	inhalativ (Staub)	inhalativ (Gas)	dermal
	dunkelgrau: Aufnahmepfad nicht relevant (vgl. Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch)			
3.	Liegen alle relevanten Untersuchungsergebnisse aus der orientierenden Untersuchung (OU) vor? (vgl. Kap. 5.2, Kap. 5.3) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Abgrenzung der Untersuchungsfläche <input type="checkbox"/> Nutzungskartierung <input type="checkbox"/> Probennahmeprotokolle <input type="checkbox"/> Analytik (Boden) <input type="checkbox"/> weitere _____  Wenn nein, welche Untersuchungen waren bzw. sind noch zu ergänzen?			
4.	Sind die erforderlichen Nachuntersuchungen erfolgt und ausreichend (Qualitätssicherung)? (vgl. Kap. 10.1) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Anmerkungen:			

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

<b>C.</b>	<b>Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad)</b>	
5.	<b>Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 5.2)</b>	
5.1	<b>Besonderheiten der Schadstoffe</b>	
5.1.1	Prüfung der Oxidationsstufen (vgl. Kap. 5.2.2), wenn ja, für welche Stoffe relevant, z.B.: <input type="checkbox"/> Chrom <input type="checkbox"/> weitere: _____	
5.1.2	Prüfung der Bindungsformen (vgl. Kap. 5.2.3), wenn ja, für welche Stoffe relevant, z.B.: <input type="checkbox"/> Quecksilber <input type="checkbox"/> weitere: _____	
5.2	<b>Relevanz des oralen Aufnahmepfades (vgl. Kap. 5.1.1)</b>	
5.2.1	Prüfung der Resorptionsverfügbarkeit (vgl. Kap. 5.2.4), wenn ja, für welche Stoffe relevant, z.B.: <input type="checkbox"/> Arsen <input type="checkbox"/> Blei <input type="checkbox"/> Cadmium <input type="checkbox"/> Nickel <input type="checkbox"/> Quecksilber <sub>anorg</sub> <input type="checkbox"/> BaP <input type="checkbox"/> weitere: _____	
5.2.2	Überprüfung der Sinnhaftigkeit der RV-Untersuchungen (vgl. Kap. 5.2.4), insbesondere bei extrem hohen Belastungen: Ist durch die RV-Untersuchung eine Änderung der Gefahrenbeurteilung möglich?    ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	
5.3	<b>Relevanz des inhalativen Aufnahmepfades (vgl. Kap. 5.1.2)</b>	
5.3.1	Prüfung der Anreicherung in der Feinkornfraktion < 63 µm (beispielsweise auf Sport- und Bolzplätzen), (vgl. Kap. 5.2.5), wenn ja, für welche Stoffe relevant, z.B.: <input type="checkbox"/> Arsen <input type="checkbox"/> Blei <input type="checkbox"/> Cadmium <input type="checkbox"/> Chrom <input type="checkbox"/> Nickel <input type="checkbox"/> Quecksilber <sub>anorg</sub> <input type="checkbox"/> BaP <input type="checkbox"/> weitere: _____	
5.3.2	Wurden Staubkonzentrationen ermittelt? (vgl. Kap. 5.2.6)	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Anmerkungen:	

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

<b>C.</b>	<b>Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Direktpfad)</b>
<b>6.</b>	<b>Prüfung der nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 5.3)</b>
6.1	Welche Daten liegen zur Nutzung der Fläche vor? <input type="checkbox"/> Kartografische Darstellungen im GIS-Format <input type="checkbox"/> Fotodokumentation <input type="checkbox"/> Tabellen mit Subnutzungen der Flächen (in m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> Ergebnisse aus Befragungen (Dokumentation) <input type="checkbox"/> weitere: _____
6.2	Wurden Annahmen zur Abschätzung der aktuellen Nutzung angepasst? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> wenn ja; welche? <input type="checkbox"/> Bodenaufnahmerate (g/d) (vgl. Kap. 5.3.1) <input type="checkbox"/> Aufenthaltshäufigkeit (d/a) (vgl. Kap. 5.3.2) <input type="checkbox"/> Aufenthaltsdauer (h/d) (vgl. Kap. 5.3.2) <input type="checkbox"/> weitere: _____ Anmerkungen:
6.3	Wurden die Kappungsgrenzen (0,1 g Boden/Tag; 12 g Boden/Jahr) beachtet? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Anmerkungen:
<b>7.</b>	<b>Untersuchungen am Schutzgut (Mensch) (vgl. Kap. 9.4)</b>
7.1	Wurden Human-Biomonitoring-Untersuchungen durchgeführt? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Wenn ja, welche Ergebnisse liegen vor und wie wurden diese ausgewertet?
<b>8.</b>	<b>Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Mensch (Direktpfad) (vgl. Kap. 5.4)</b>
8.1	Welche Fallgestaltungen bzgl. der Nutzung wurden abschließend beurteilt: <input type="checkbox"/> sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung <input type="checkbox"/> aktuelle Nutzung <input type="checkbox"/> weiteres Nutzungsszenario: _____  Ergebnis:

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

D.	Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch			
1.	Ist der Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch relevant? (vgl. Kap. 6) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> <b>Wenn nein, weiter mit dem nächsten Wirkungspfad!!</b>			
2.	Wenn ja, welches sind die beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfade für die relevanten Schadstoffe? Bitte Schadstoffe nach relevanten Aufnahmepfaden eintragen. (vgl. Kap. 6.1)			
<b>Aufnahmepfade</b>				
<b>oral</b>		<b>inhalativ (Staub)</b>	<b>inhalativ (Gas)</b>	<b>dermal</b>
dunkelgrau: Aufnahmepfad nicht relevant (vgl. Wirkungspfad Boden-Mensch)				
3.	Liegen alle relevanten Untersuchungsergebnisse aus der orientierenden Untersuchung (OU) vor? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Abgrenzung der Untersuchungsfläche <input type="checkbox"/> Identifikation der Schadstoffquelle <input type="checkbox"/> Nutzungskartierung / Begehungsprotokolle <input type="checkbox"/> Probennahmeprotokolle <input type="checkbox"/> Analytik (Boden, Bodenluft, Innenraumluft) <input type="checkbox"/> weitere -----  Wenn nein, welche Untersuchungen waren bzw. sind noch zu ergänzen?			
4.	Sind die erforderlichen Nachuntersuchungen erfolgt und ausreichend (Qualitätssicherung)? (vgl. Kap. 10.1) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Anmerkungen			

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

<b>D.</b>	<b>Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Mensch</b>	
<b>5.</b>	<b>Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 6.2)</b>	
5.1	Untersuchung der Bodenluft, wenn ja, für welche Stoffe relevant, z.B.: <input type="checkbox"/> aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX) <input type="checkbox"/> leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) <input type="checkbox"/> Nitroaromaten <input type="checkbox"/> weitere: _____	
<b>6.</b>	<b>Prüfung der nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 6.3)</b>	
6.1	Angaben zu Art und Zustand von Gebäuden? (vgl. Kap. 6.3.1, Kap. 6.3.2) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Wenn ja, wurden Annahmen zum Schadstofftransfer Boden-Innenraumluft angepasst ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Wenn ja, Begründung:	
6.2	Wurden Annahmen zur Abschätzung der aktuellen Gebäudenutzung angepasst? (vgl. Kap. 6.3.2) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> wenn ja; welche? <input type="checkbox"/> Aufenthaltshäufigkeit und -dauer <input type="checkbox"/> Nutzungsart und -intensität <input type="checkbox"/> weitere: _____ Begründung:	
<b>7.</b>	<b>Untersuchungen am Aufnahmemedium (Innenraumluft) (vgl. Kap. 6.4)</b>	
7.1	Wurden Untersuchungen in der Innenraumluft durchgeführt? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Wenn ja, welche Ergebnisse liegen vor und wie wurden diese ausgewertet?	
<b>8.</b>	<b>Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Bodenluft-Mensch (vgl. Kap. 6.5)</b>	
8.1	Welche Fallgestaltungen bzgl. der Nutzung wurden abschließend beurteilt: <input type="checkbox"/> sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung <input type="checkbox"/> aktuelle Nutzung <input type="checkbox"/> weiteres Nutzungsszenario: _____ Ergebnis:	

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

E.	Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch			
1.	Ist der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch relevant? (vgl. Kap. 7) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> <b>Wenn nein, weiter mit dem nächsten Wirkungspfad!!</b>			
2.	Wenn ja, welches sind die beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfade für die relevanten Schadstoffe? Bitte Schadstoffe nach relevanten Aufnahmepfaden eintragen. (vgl. Kap. 7.1)			
	<b>Aufnahmepfade</b>			
	<b>oral</b>	<b>inhalativ (Staub)</b>	<b>inhalativ (Gas)</b>	<b>dermal</b>
	dunkelgrau: Aufnahmepfad nicht relevant (vgl. Wirkungspfad Boden-Mensch)			
2.1	Welche Aufnahmepfade sind zu prüfen? (vgl. Tabelle 9)	systemisch <input type="checkbox"/>	Verschmutzung <input type="checkbox"/>	Gaspfad <input type="checkbox"/>
3.	Liegen alle relevanten Untersuchungsergebnisse aus der orientierenden Untersuchung (OU) vor? <input type="checkbox"/> Abgrenzung der Untersuchungsfläche <input type="checkbox"/> Nutzungskartierung <input type="checkbox"/> Befragung der Nutzenden <input type="checkbox"/> Probennahmeprotokolle <input type="checkbox"/> Analytik (Boden, ggf. Nutzpflanzen) <input type="checkbox"/> weitere _____			ja <input checked="" type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Wenn nein, welche Untersuchungen waren bzw. sind noch zu ergänzen?			
4.1	Sind die erforderlichen Nachuntersuchungen erfolgt und ausreichend (Qualitätssicherung)? (vgl. Kap. 10.1) Anmerkungen			ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

E.	Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch	
<b>5.</b>	<b>Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 7.2)</b>	
5.1	Prüfung der Gesamtgehalte (Fraktion < 2 mm) (vgl. Kap. 7.2.1), wenn ja, für welche Stoffe relevant, z.B.:  <input type="checkbox"/> Arsen <input type="checkbox"/> Quecksilber <input type="checkbox"/> BaP <input type="checkbox"/> weitere _____	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
5.2	Prüfung der Pflanzenverfügbarkeit (Fraktion < 2mm) (vgl. Kap. 7.2.2); wenn ja, für welche Stoffe relevant, z.B.:  <input type="checkbox"/> Blei <input type="checkbox"/> Cadmium <input type="checkbox"/> Thallium <input type="checkbox"/> weitere _____	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
5.3	Prüfung verfügbarkeitsbestimmender Faktoren (vgl. Kap. 7.2.3) Wenn ja, welche sind relevant?  <input type="checkbox"/> pH-Wert <input type="checkbox"/> TOC <input type="checkbox"/> Bodenart / Tongehalt <input type="checkbox"/> weitere _____	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Transferabschätzungen Boden-Nutzpflanze? (vgl. Kap. 7.2.4) Wenn ja, welche?	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
<b>6.</b>	<b>Untersuchungen am Schutzgut (Pflanze) (vgl. Kap. 7.4)</b>	
6.1	Wurden Pflanzenuntersuchungen durchgeführt? Wenn ja, welche? Ergebnisse:	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
<b>7.</b>	<b>Prüfung der nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 7.3)</b>	
7.1	Welche Daten liegen zur Nutzung der Fläche vor?  <input type="checkbox"/> Kartografische Darstellungen im GIS-Format <input type="checkbox"/> Daten zu Anbauflächen (in m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> Fotodokumentation <input type="checkbox"/> Ergebnisse aus Befragungen (Dokumentation) <input type="checkbox"/> Angaben zur Nutzpflanzenauswahl <input type="checkbox"/> weitere: _____	

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

E.	<b>Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch</b>
7.2	Wurden Annahmen zur Abschätzung des Anbau- und Verzehrverhaltens angepasst? (vgl. Kap. 7.3.1, Kap. 7.3.2) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> wenn ja; welche? <input type="checkbox"/> Anbauflächen (m <sup>2</sup> /Person) _____ <input type="checkbox"/> Nutzpflanzenauswahl _____ <input type="checkbox"/> Ernte- und Verzehrmenen _____ <input type="checkbox"/> weitere: _____  Anmerkungen:
7.3	Wurde die Schadstoffzufuhr ermittelt? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> wenn ja; mithilfe von <input type="checkbox"/> Transfer- und Expositionsabschätzungen <input type="checkbox"/> Pflanzenuntersuchungen und Expositionsabschätzungen <input type="checkbox"/> weitere: _____ Anmerkungen:
<b>8.</b>	<b>Untersuchungen am Schutzgut (Mensch) (vgl. Kap. 9.4)</b>
8.1	Wurden Untersuchungen am Schutzgut, d.h. Human-Biomonitoring-Untersuchungen durchgeführt? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Wenn ja, welche Ergebnisse liegen vor und wie wurden diese ausgewertet?
<b>9.</b>	<b>Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze-Mensch (vgl. Kap. 7.5)</b>
9.1	Welche Fallgestaltungen bzgl. der Nutzung wurden abschließend beurteilt: <input type="checkbox"/> aktuelle Nutzung <input type="checkbox"/> sensibelste planungsrechtlich zulässige Nutzung <input type="checkbox"/> weiteres Nutzungsszenario: _____ <input type="checkbox"/> integrative Betrachtung mit Wirkungspfad Boden-Mensch  Ergebnis:

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

F.	Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch											
1.	Ist der Wirkungspfad Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch relevant? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> (vgl. Kap.8) <b>Wenn nein, weiter mit der abschließenden Gefährdungsabschätzung!!</b>											
2.	Wenn ja, welches sind die beurteilungsbestimmenden Aufnahmepfade für die relevanten Schadstoffe? Bitte Schadstoffe nach relevanten Aufnahmepfaden eintragen.											
<b>Aufnahmepfade</b>												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%; background-color: #fff2cc;">oral</th> <th style="width: 25%; background-color: #fff2cc;">inhalativ (Staub)</th> <th style="width: 25%; background-color: #fff2cc;">inhalativ (Gas)</th> <th style="width: 25%; background-color: #fff2cc;">dermal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;"></td> <td style="background-color: #555555;"></td> <td style="background-color: #555555;"></td> <td style="background-color: #555555;"></td> </tr> </tbody> </table>					oral	inhalativ (Staub)	inhalativ (Gas)	dermal				
oral	inhalativ (Staub)	inhalativ (Gas)	dermal									
dunkelgrau: Aufnahmepfad nicht relevant (vgl. Wirkungspfad Boden-Mensch)												
3.	Liegen alle relevanten Untersuchungsergebnisse aus der orientierenden Untersuchung (OU) vor? (vgl. Kap. 8.1) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Abgrenzung der Untersuchungsfläche <input type="checkbox"/> Nutzungskartierung <input type="checkbox"/> Probennahmeprotokolle <input type="checkbox"/> Analytik (Boden, ggf. Futterpflanzen) <input type="checkbox"/> weitere -----  Wenn nein, welche Untersuchungen waren bzw. sind noch zu ergänzen?											
4.	Sind die erforderlichen Nachuntersuchungen erfolgt und ausreichend (Qualitätssicherung)? (vgl. Kap.10) ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Anmerkungen											

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

<b>F.</b>	<b>Expositionsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Futterpflanze-Nutztier-Mensch</b>	
<b>5.</b>	<b>Prüfung der bodenabhängigen Expositionsbedingungen (vgl. Kap. 8.1)</b>	
5.1	Prüfung des Wirkungspfad Boden-Pflanze hinsichtlich Pflanzenqualität (vgl. Kap. ), wenn ja, für welche Stoffe relevant?	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Arsen <input type="checkbox"/> Blei <input type="checkbox"/> Cadmium <input type="checkbox"/> Kupfer <input type="checkbox"/> Nickel <input type="checkbox"/> Quecksilber	<input type="checkbox"/> Thallium <input type="checkbox"/> Hexachlorbenzol <input type="checkbox"/> Hexachlorcyclohexan <input type="checkbox"/> PCB <input type="checkbox"/> PCDD/F <input type="checkbox"/> weitere _____
<b>6.</b>	<b>Prüfung der nutzungsabhängigen Expositionsbedingungen</b>	
6.1	Bedingungen für den Verschmutzungsgrad	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Begründungen:	
	Transferabschätzungen Boden-Nutzpflanze?	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Wenn ja, welche?	
<b>7.</b>	<b>Untersuchungen am Schutzgut (Futterpflanze /tierische Produkte)</b>	
7.1	Untersuchungen der Futterpflanzen durchgeführt? (vgl. Kap. 8.2)	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Wenn ja, welche und wie wurden diese ausgewertet?	
	Ergebnisse:	
7.2	Wurden Untersuchungen tierischer Produkte durchgeführt? (vgl. Kap. 8.3)	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Wenn ja, welche und wie wurden diese ausgewertet?	
<b>8.</b>	<b>Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze-Mensch</b>	
8.1	Welche Fallgestaltungen bzgl. der Nutzung wurden abschließend beurteilt:	
	<input type="checkbox"/> aktuelle Nutzung <input type="checkbox"/> weiteres Nutzungsszenario: _____	
	Ergebnis:	

Projekt-Nr.: P217057

## Anhang 1: Checkliste zur Expositionsabschätzung

G.	Abschließende Gefährdungsabschätzung	
1.	Wurden alle relevanten Sachverhalte abgebildet und bewertet? Anmerkungen:	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
2.	Wurden alle relevanten Schadstoffe berücksichtigt und die Gefahrenbeurteilungen für alle relevanten Aufnahmepfade abgewogen oder integrativ betrachtet? (vgl. Kap.4.1., Kap. 9.1 ) Anmerkungen:	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
3.	Wurden alle Wirkungspfade berücksichtigt und in der abschließenden Gefährdungsabschätzung einzeln bzw. integrativ betrachtet? (vgl. Kap. 4.2) Anmerkungen:	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
4.	Kann der vorliegende Fall für alle relevanten Schadstoffe und Wirkungspfade abschließend bewertet werden? Anmerkungen:	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>