

Milser Straße 37
33729 Bielefeld
Tel.: (0521) 977 10-0
Fax.: (0521) 977 10-20
info@ifua.de

Projekttitel:

**Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung
innerhalb der Detailuntersuchung
(Nr. B 3.17)
Anhang 2:
Datenblätter zur
Expositionsabschätzung**

Auftraggeber:

Länderfinanzierungsprogramm
"Wasser, Boden und Abfall"

Bearbeitung:

Monika Machtolf (Dipl. Oec. troph.)
Gerald Krüger (Dipl.-Geoökol.)
Dr. Dietmar Barkowski (Dipl.-Chem.)

Projekt-Nr.:

P217057

Datum:

Dezember 2019

Gesellschafter:

- Dr. Dietmar Barkowski (Dipl.-Chem.)
von der Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Gefährdungsabschätzung für die Wirkungspfade Boden-Gewässer und Boden-
Mensch sowie Sanierung (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 2, 4 und 5)
- Michael Bleier (Dipl.-Ing.)
- Petra Günther (Dipl.-Biol.)
von der Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld öffentlich bestellte und vereidigte Sach-
verständige für Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Pflanze/Vorsorge zur Begrenzung
von Stoffeinträgen in den Boden und beim Auf- und Einbringen von Materialien sowie für Gefährdungsab-
schätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 3 und 4), Wirt-
schaftsmediatorin (IHK)
- Monika Machtolf (Dipl. Oec. troph.)

Inhaltsverzeichnis

Schadstoffdatenblätter	2
Metalle	3
Arsen	3
Blei	5
Cadmium	8
Chrom	11
Nickel	14
Quecksilber	17
Cyanide	21
Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	23
PAK (Summe)	25
Naphthalin	28
Benzo(a)pyren (BaP)	30
Pflanzenschutzmittel	32
Hexachlorcyclohexan (HCH-Gemisch oder γ -HCH)	32
Polychlorierte Biphenyle (PCB ₆)	35
Chlorphenole	40
2,3,4,5,6-Pentachlorphenol (PCP) (C ₆ Cl ₅ OH)	40
Chlorbenzole	43
Hexachlorbenzol (C ₆ Cl ₆)	43
Per- und polyfluorierte Chemikalien	46
Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	50

Schadstoffdatenblätter

Für die Bewertung der Ergebnisse aus der Expositionsabschätzung sind Daten zu den humantoxikologisch relevanten Wirkeigenschaften der Schadstoffe erforderlich. Die Grundzüge der Stoffbewertung sind in Kapitel 4.1 der Arbeitshilfe beschrieben.

Anhang 2 bietet Unterstützung bei der Abschätzung der Relevanz von Schadstoffen in Bezug auf deren mögliche Aufnahme- und Expositionspfade. Dazu werden relevante Daten zur Quantifizierung gesundheitlicher Wirkungen aufgeführt, auf Besonderheiten in der Bewertung hingewiesen sowie Beurteilungswerte aus angrenzenden Rechtsbereichen zitiert.

Darüber hinaus sind, soweit vorhanden, die Prüfwerte der BBodSchV bzw. orientierende Hinweise auf Prüfwerte für die verschiedenen Nutzungsszenarien aufgeführt, verknüpft mit Informationen zum nutzungsspezifisch relevanten Aufnahmepfad und dem sensibelsten Wirkendpunkt (toxisch/kanzergen) sowie daraus folgenden Hinweisen für mögliche Untersuchungsmethoden zur Expositionsabschätzung.

Es finden sich Angaben zu folgenden Stoffgruppen:

- Metalle
- Cyanide
- Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- Pflanzenschutzmittel (PSM)
- Polychlorierte Biphenyle (PCB₆)
- Chlorphenole
- Chlorbenzole
- per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)
- Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

Grundsätzlich wird in den Stoffgruppen jeweils differenziert in:

1. Stoffe mit Prüfwerten nach BBodSchV
2. Stoffe mit orientierenden Hinweisen auf Prüfwerte
3. Stoffe ohne Prüfwertvorschläge

Metalle

Schwermetalle sowie Halbmetalle können im Gegensatz zu den meisten organischen Schadstoffen nicht nur anthropogen sondern auch natürlich (geogene Hintergrundkonzentrationen) vorkommen. Darüber hinaus können Schwermetalle in Umweltmedien in unterschiedlichen Oxidationsstufen und Bindungsformen auftreten, mit ggf. unterschiedlichen Wirkungen oder Wirkpotenzial (wie beispielsweise für Chrom III bzw. Chrom VI bekannt). Mit Ausnahme von metallischem Quecksilber und metallorganischen Verbindungen sind Metalle im Allgemeinen nicht flüchtig.

Arsen

Bezeichnung	Arsen (CAS-Nr.: 7440-38-2)														
Vorkommen	Arsen, Halbmetall, kommt im Boden in 3-wertiger und 5-wertiger Form vor, eine differenzierte Betrachtung der Bindungsformen erfolgt im Rahmen der Prüfwertableitungen nicht. Organische Arsenverbindungen, die auch im Stoffwechsel zahlreicher Organismen entstehen können, gelten als weniger toxisch. Arsen verhält sich im Boden vergleichsweise wenig mobil und wird nur in geringem Maße von Pflanzen aufgenommen.														
Humantoxikologische Bewertung	Die kanzerogenen Wirkungen von Arsen sind ausschlaggebend für die humantoxikologische Bewertung (Haut, Leber, Lunge). Bei oraler Exposition führen die toxischen wie die kanzerogenen Wirkungen zur Ableitung ähnlicher Bodenwerte. Für Arsen sind auch akut toxische Wirkungen bekannt.														
Quantifizierung der Wirkung	<i>Quelle: UBA 1999ff</i> <table> <tr> <td>orale Aufnahme - toxisch</td> <td>TRD: 300 ng/(kg KG*d) (dermale Effekte)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: 100 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SF (a,b,c,d): 3 (1,1,1,3)</td> </tr> <tr> <td>orale Aufnahme - kanzerogen</td> <td>Krebsrisiko 10⁻⁵: 5,6 ng/(kg KG*d)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(UR-) Resorption: 100 %</td> </tr> <tr> <td>inhalative Aufnahme - kanzerogen</td> <td>Krebsrisiko 10⁻⁵: 1,8 ng/m³ (UR++)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: 30 %</td> </tr> </table>	orale Aufnahme - toxisch	TRD: 300 ng/(kg KG*d) (dermale Effekte)		Resorption: 100 %		SF (a,b,c,d): 3 (1,1,1,3)	orale Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 5,6 ng/(kg KG*d)		(UR-) Resorption: 100 %	inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 1,8 ng/m ³ (UR++)		Resorption: 30 %
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 300 ng/(kg KG*d) (dermale Effekte)														
	Resorption: 100 %														
	SF (a,b,c,d): 3 (1,1,1,3)														
orale Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 5,6 ng/(kg KG*d)														
	(UR-) Resorption: 100 %														
inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 1,8 ng/m ³ (UR++)														
	Resorption: 30 %														
Nutzungsszenarien	Während in den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeittflächen die toxischen wie die kanzerogenen Wirkungen nach oraler Exposition zur Ableitung ähnlicher Bodenwerte führen, dominiert in den Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze die kanzerogene Wirkung nach Inhalation. In Nutzgärten bestimmen die Bodenverhältnisse den Transfer vom Boden in die Nutzpflanze. Reduzierende Bedingungen erhöhen die Mobilität von Arsen.														
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Beim oralen Aufnahmepfad sind toxische wie kanzerogene Wirkungen gleichbedeutend. • Die Prüfwerte sind nach Plausibilitätsprüfung abgeleitet. • Ab Arsengehalten von 100 mg/kg müssen auch akut toxische Wirkungen geprüft werden. 														
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz														
Beurteilungswerte Innenraumluf (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): <table> <tr> <td>0,5 mg/kg (Hintergrund)</td> </tr> <tr> <td>1 mg/kg (Normalwert)</td> </tr> <tr> <td>3 mg/kg (Auffälligkeitswert)</td> </tr> </table>	0,5 mg/kg (Hintergrund)	1 mg/kg (Normalwert)	3 mg/kg (Auffälligkeitswert)											
0,5 mg/kg (Hintergrund)															
1 mg/kg (Normalwert)															
3 mg/kg (Auffälligkeitswert)															

Bezeichnung	Arsen (CAS-Nr.: 7440-38-2)
Beurteilungswerte Lebensmittel	0,1-0,3 mg/kg in Reis und Reisprodukten (EU-VO 1881/2006) 0,1 mg/l Wein, weinhaltige Getränke (WeinV 2015) in anderen Ländern liegen z.T. weitere Grenzwerte vor (vgl. IGS NrW)
Trinkwasser	0,01 mg/l (Grenzwert TrinkwV 2016)
Weitere Verweise	Stellungnahmen zum Arsengehalt in Lebensmitteln des BfR (siehe auch das Untersuchungsprogramm BfR MEAL) Weitere Informationen finden sich bei EIKMANN 1999ff, IGS NrW, etc.

Expositionsabschätzung für Arsen (CAS-Nr.: 7440-38-2)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Ex- positionsabschätzung
Kinderspiel	25 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch / kanzerogen	Resorptionsverfügbarkeit
Wohngebiet	50 mg/kg			nutzungsabhängige Expositions- bedingungen
Park- und Freizeitanlage	125/100* mg/kg * Akutwert			Resorptionsverfügbarkeit
Industrie- und Gewerbe	140 mg/kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm nutzungsabhängige Expositions- bedingungen
Nutzgarten	200/50* mg/kg *bei reduzierenden Verhältnissen	systemisch / Verschmutzung	toxisch / kanzerogen	Anbaufläche, Anbau- und Ver- zehrergewohnheiten
Haus- und Kleingar- ten	25 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch / kanzerogen	Resorptionsverfügbarkeit nutzungsabhängige Expositions- bedingungen Anbaufläche, Anbau- und Ver- zehrergewohnheiten
Sport-Bolzplatz	100 mg/kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm nutzungsabhängige Expositions- bedingungen

Quellen:

AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub Online: https://www.agof.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEf-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf

Eikmann T, Heinrich U, Heinzow B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag, Loseblatts.

IGS (Informationssystem für gefährliche Stoffe): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Online: http://igsvtu.lanuv.nrw.de/igs_portal/index.htm

LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2013): Arbeitshilfe Arsentransfer aus Böden in Nahrungs- und Futterpflanzen – Gefahrenbeurteilung und Maßnahmen. Online: https://www.labo-deutschland.de/documents/2013-09-03_LABO-Arbeitshilfe_Arsentransfer.pdf

UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin

VERORDNUNG (EG) Nr. 1881/2006 v.19. Dez. 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Amtsblatt der Europäischen Union, L 364/5; zuletzt geändert durch VO 2017/1237, 7/2017

VERORDNUNG (EU) 2015/1006 DER KOMMISSION vom 25. Juni 2015 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte für anorganisches Arsen in Lebensmitteln

WeinV (2015): Weinverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. April 2009 (BGBl. I S. 827), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 21. April 2015 (BGBl. I S. 614) geändert worden ist

Blei

Bezeichnung	Blei (CAS-Nr.: 7439-92-1; elementar)
Vorkommen	<p>Blei ist ein Schwermetall, das in der Natur mit Ausnahme kleiner Mengen elementaren Bleis, die mit Erzen vergesellschaftet sind, hauptsächlich in Form verschiedener anorganischer Verbindungen in der Oxidationsstufe +II vorkommt. Anorganische Verbindungen mit Blei in der Oxidationsstufe +IV (z.B. Bleidioxid und Blei II, IV -oxid [Mennige]) wirken oxidierend. Im Boden verhält sich Blei mäßig mobil.</p> <p>Aussagen zur Toxizität von Blei gehen überwiegend auf Untersuchungen mit leicht löslichen Blei(II)verbindungen zurück, wobei für die Bewertung insbesondere der orale Aufnahmepfad über die Nahrung Relevanz erlangt. In den Organismus aufgenommenes Blei reichert sich langfristig im Knochengewebe an</p> <p>Insgesamt wird in der Bevölkerung seit den 1980er Jahren eine abnehmende Tendenz insbesondere für die immissionsbedingte Bleiaufnahme sowie daraus resultierender Blutbleikonzentrationen beobachtet.</p>
Humantoxikologische Bewertung	<p>Die neurotoxischen Effekte sowie die hohe Resorptionsrate von Blei bei Kindern sind ausschlaggebend für die humantoxikologische Bewertung (Entwicklung der Intelligenz). Aus epidemiologischen Daten an Kindern werden im Blut gemessene Bleikonzentrationen mit den beobachteten Effekten in Zusammenhang gebracht, wobei aufgrund des aktuellen Kenntnisstandes Wirkschwellen fachlich nicht zu begründen sind.</p>
Quantifizierung der Wirkung orale Aufnahme - toxisch orale Aufnahme - kanzerogen inhalative Aufnahme - kanzerogen	<p><i>Quelle: UBA 1999ff</i></p> <p>TRD: 1 µg/(kg KG*d) (neurologische Effekte)</p> <p>Resorption: 50 %</p> <p>SF (a,b,c,d): 2 (1,2,1,1)</p> <p>Krebsrisiko 10⁻⁵: -</p> <p>Resorption: -</p> <p>Krebsrisiko 10⁻⁵: -</p> <p>Resorption: -</p>
Nutzungsszenarien	<p>Während in den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeitflächen die toxischen Wirkungen nach oraler Exposition die Ableitung der Bodenwerte begründen, dominiert in den Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze im Prinzip die inhalative Aufnahme bodenbürtiger Stäube die Bewertung. Allerdings ergeben sich für Industrie- und Gewerbegrundstücke aufgrund der geringen inhalativen Wirksamkeit von Blei unpraktikabel hohe Werte, so dass im Zuge der Plausibilitätsprüfung letztlich der zweifache Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen angesetzt wird, um sicherzustellen, dass es bei Einhaltung dieses Prüfwertes nicht zu sekundären Verunreinigungen auf umliegenden, ggf. empfindlicher genutzten Flächen kommen kann (durch Abschwemmung, Verwehung, etc.).</p> <p>In Nutzgärten ist von einer – vom pH-Wert abhängigen – systemischen Aufnahme von Blei aus dem Boden in die Nutzpflanze auszugehen. I.d.R. dominiert jedoch die direkte Bodenaufnahme den oralen Aufnahmepfad.</p>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund der Datenlage zur Toxikologie von Blei wurden nach den Methoden zur Prüfwertableitung Prüfwerte von 72,5 mg Pb/kg für Kinderspielflächen und 145 mg Pb/kg für Wohngebiete abgeleitet. • Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wurden darüber hinaus epidemiologische Daten (aus Duisburg) herangezogen, die den Zusammenhang zwischen Blutblei und den nachgewiesenen Bodenbelastungen sowie der Bleideposition ermitteln ließen.

Bezeichnung	Blei (CAS-Nr.: 7439-92-1; elementar)
	<ul style="list-style-type: none"> Im Ergebnis wurde eine Erhöhung des Bleigehalts im Boden um 100 mg/kg mit einer Erhöhung der Blutbleikonzentration um 1-5 µg/l assoziiert, so dass unter Berücksichtigung der Hintergrundexposition ein Bodenprüfwert von 400 mg Pb/kg für Wohngebiete abgeleitet wurde. In der Konsequenz heißt das, dass die Prüfwerte für Blei für die Bodenverhältnisse in Duisburg (durchschnittliche Resorptionsverfügbarkeit ca. 35 %) gelten. Werden resorptionsverfügbare Bleigehalte gemessen, sind diese daher mit den berechneten Prüfwerten (UBA 1999ff) für Kinderspielflächen (70 mg/kg), für Wohngebiete (145 mg/kg) und für Park- und Freizeitanlagen (350 mg/kg) abzugleichen. Sollen für großflächigere Betrachtungen (Wohngebiete, Stadtteile, etc.) gebietsbezogene Beurteilungswerte abgeleitet werden, stellt sich die Frage, inwiefern die den Prüfwerten zugrunde gelegten Daten übertragbar sind. Zur Klärung dieser Fragen wurden vertiefende Auswertungen aktueller Daten für den Duisburger Süden durchgeführt, deren Ergebnisse für Expositionsabschätzungen genutzt werden können (vgl. LUA 2006). <p>Prinzipiell gilt, dass sich die humantoxikologische Bewertung von Blei aktuell deutlich verschärft hat, während die Hintergrundbelastung der Bevölkerung durch Nahrung, Luftbelastung sowie berufliche Exposition insgesamt weiter gesunken scheint. Zu ergänzen ist, dass die HBM-Kommission 2009 eine Neubewertung für Blei vorgenommen und auf Grund der aktuellen Erkenntnisse die HBM-Werte ausgesetzt hat (UBA 2009).</p>
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): 5 mg/kg (Hintergrund) 20 mg/kg (Normalwert) 150 mg/kg (Auffälligkeitswert)
Beurteilungswerte Lebensmittel	0,01 – 1,5 mg/kg für diverse Lebensmittel (Höchstgehalte an Kontaminanten (EU-VO 1881/2006)) 5 ppm Gelatine und Kollagen (EU-VO 853/2004) 0,25 mg/l Wein, weinhaltige Getränke (WeinV 2017) in anderen Ländern liegen z.T. weitere Grenzwerte vor (vgl. IGS NrW)
Trinkwasser	0,01 mg/l (Grenzwert TrinkwV 2016)
Weitere Verweise	Stellungnahmen und Empfehlungen zum Bleigehalt in Lebensmitteln des BfR Weitere Informationen finden sich bei EIKMANN 1999ff, IGS NrW, etc.

Expositionsabschätzung für Blei (CAS-Nr.: 7439-92-1; elementar)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	200 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit
Wohngebiet	400 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Park- und Freizeitanlage	1.000 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit

Industrie- und Gewerbe	2.000 mg/kg	inhalativ (Plausibilität: orale Aufnahme)	toxisch	Zugänglichkeit der Fläche, Lage zum Umfeld, Nutzungen im Umfeld prüfen Möglichkeiten sekundärer Ver- unreinigungen prüfen und Prüf- schritte auswählen (ggf. RV o- der Feinkornfraktion < 63 µm)
Expositionsabschätzung für Blei (CAS-Nr.: 7439-92-1; elementar)				
Nutzgarten	0,1 mg/kg (AN)	systemisch	toxisch	Pflanzenverfügbarkeit Transferabschätzungen, Anbau- und Verzehrgewohnheiten
Haus- und Kleingarten	200 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit / Pflanzenverfügbarkeit
	0,1 mg/kg (AN)	systemisch	toxisch	nutzungsabhängige Expositions- bedingungen Transferabschätzungen, Anbau- und Verzehrgewohnheiten, ggf. Integrative Betrachtung orale Auf- nahme!
Sport-Bolzplatz	5.000 mg/kg	inhalative Aufnahme	toxisch	Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositions- bedingungen
Quellen:				
AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEf-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf				
BfR (BUNDESINSTITUT FÜR Risikobewertung): Online unter: http://www.bfr.bund.de/de/start.html				
Eikmann T, Heinrich U, Heinzow B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblatts.				
EU-VO 853/2004 Spezifische Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs zul. geänd. d. VO 2016/355, 3/2016				
IGS (Informationssystem für gefährliche Stoffe): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Online: http://igsvtu.lanuv.nrw.de/igs_portal/index.htm				
LUA (LANDESUMWELTAMT NrW, Essen) (2006): Übergreifende Auswertung von Boden-, Immissions- und Humandaten zur Schwermetallbelastung im Duisburger Süden; Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz; MALBO 23				
UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin				
UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2009): Kommission "Human-Biomonitoring - Neue und aktualisierte Referenzwerte für Antimon, Arsen und Metalle (Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber, Thallium und Uran) im Urin und im Blut von Kindern in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt, Band 52, Heft 10, S. 977-982				
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 VO 2017/1237, 7/2017				
WeinV (2017): Weinverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. April 2009 (BGBl. I S. 827), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 5.7.2017, BGBl I 2017, 2272) geändert worden ist				

Cadmium

Bezeichnung	Cadmium (CAS-Nr.: 7440-43-9)																
Vorkommen	<p>Cadmium zählt zu den Schwermetallen und tritt in Form von Cadmiumblende und Cadmiumcarbonat als Begleiter von Zinkerzen auf. Außerdem findet es sich in Blei- und Kupfererzen sowie in Phosphatdüngern. In seinen Verbindungen tritt es in der Oxidationsstufe +II auf. Gut wasserlösliche Cadmiumverbindungen sind Cadmiumchlorid, -sulfat, -nitrat und -acetat, während Cadmiumsulfid, -oxid und -carbonat kaum wasserlöslich sind.</p> <p>Cadmium verhält sich im Boden in Abhängigkeit vom pH-Wert vergleichsweise mobil und wird in vergleichsweise hohem Maße von Nutzpflanzen aufgenommen.</p>																
Humantoxikologische Bewertung	<p>Unabhängig vom Aufnahmepfad reichert sich Cadmium insbesondere in der Nierenrinde an und kann dort zu Störungen der Nierenfunktion führen. Aber auch Knochenschäden sowie immuntoxische Effekte, Schädigungen des Herz-Kreislaufsystems sowie Beeinträchtigungen der Fortpflanzung können bei hohen Cadmiumexpositionen beobachtet werden. Nach inhalativer Aufnahme dominieren kanzerogene Effekte im Atemtrakt.</p>																
Quantifizierung der Wirkung	<p><i>Quelle: UBA 1999ff</i></p> <table> <tr> <td>orale Aufnahme - toxisch</td> <td>TRD: 25 ng/(kg KG*d) (Nierenschäden)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: 5 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SF (a,b,c,d): 2 (1,2,1,1)</td> </tr> <tr> <td>inhalative Aufnahme - toxisch</td> <td>TRD: 35 ng/m³ (V) (lokale Wirkungen)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: -</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SF (a,b,c,d): 3000 (10,3,10,10)</td> </tr> <tr> <td>inhalative Aufnahme - kanzerogen</td> <td>Krebsrisiko 10⁻⁵: 0,8 ng/m³ (UR+)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: -</td> </tr> </table>	orale Aufnahme - toxisch	TRD: 25 ng/(kg KG*d) (Nierenschäden)		Resorption: 5 %		SF (a,b,c,d): 2 (1,2,1,1)	inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 35 ng/m ³ (V) (lokale Wirkungen)		Resorption: -		SF (a,b,c,d): 3000 (10,3,10,10)	inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 0,8 ng/m ³ (UR+)		Resorption: -
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 25 ng/(kg KG*d) (Nierenschäden)																
	Resorption: 5 %																
	SF (a,b,c,d): 2 (1,2,1,1)																
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 35 ng/m ³ (V) (lokale Wirkungen)																
	Resorption: -																
	SF (a,b,c,d): 3000 (10,3,10,10)																
inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 0,8 ng/m ³ (UR+)																
	Resorption: -																
Nutzungsszenarien	<p>Während in den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeitflächen die toxischen Wirkungen nach oraler Exposition die Ableitung der Bodenwerte bestimmen, dominiert in den Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze die kanzerogene Wirkung nach Inhalation.</p> <p>In Nutzgärten ist von einer – vom pH-Wert abhängigen – hohen systemischen Aufnahme von Cadmium aus dem Boden in die Nutzpflanze auszugehen und im Vergleich zum Direktpfad dominiert die orale Cadmiumaufnahme durch Nutzpflanzen.</p>																
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Beim oralen Aufnahmepfad sind toxische Wirkungen ausschlaggebend. • In der Plausibilitätsprüfung werden die berechneten Prüfwerte für Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeitanlagen halbiert. • Im Vergleich zum Direktpfad dominiert der Verzehr von Nutzpflanzen die orale Cadmiumaufnahme. Daher sind die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch integrativ zu betrachten, d.h. die orale Cadmiumaufnahme ist für beide Wirkungspfade zu ermitteln und zu addieren! • Zur Bewertung der Schadstoffzufuhr wurde eine zugeführte Körperdosis an Cadmium von 300 ng/kg Körpergewicht und Tag angenommen, die nicht überschritten werden darf. • Steht die inhalative Aufnahme von Cadmium im Vordergrund, sind im Gegensatz zur oralen Aufnahme lokal kanzerogene Wirkungen beurteilungsrelevant! 																

Bezeichnung	Cadmium (CAS-Nr.: 7440-43-9)
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): 0,5 mg/kg (Hintergrund) 1,5 mg/kg (Normalwert) 5 mg/kg (Auffälligkeitswert)
Beurteilungswerte Lebensmittel	0,05 – 3 mg/kg für diverse Lebensmittel (Höchstgehalte an Kontaminanten (EU-VO 1881/2006)) 0,5 ppm Gelatine und Kollagen (EU-VO 853/2004) 0,01 mg/l Wein, weinhaltige Getränke (WeinV 2017) in anderen Ländern liegen z.T. weitere Grenzwerte vor (vgl. IGS NrW)
Trinkwasser	0,003 mg/l (Grenzwert TrinkwV 2016)
Weitere Verweise	Stellungnahmen zum Cadmiumgehalt in Lebensmitteln des BfR Weitere Informationen finden sich bei EIKMANN 1999ff, IGS NrW, etc.

Expositionsabschätzung für Cadmium (CAS-Nr.: 7440-43-9)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	10 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit
Wohngebiet	20 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Park- und Freizeitanlage	50 mg/kg	Resorptionsverfügbarkeit		
Industrie- und Gewerbe	60 mg/kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Nutzgarten	0,04/0,1 mg/kg (AN) (Maßnahmenwert)	systemisch	toxisch	Pflanzenverfügbarkeit
				Transferabschätzungen, Anbau- und Verzehrgeohnheiten
Haus- und Kleingärten	2 mg/kg 0,04/0,1 mg/kg (AN) (Maßnahmenwert)	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit / Pflanzenverfügbarkeit
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen Transferabschätzungen, Anbau und Verzehrgeohnheiten, Integrierte Betrachtung orale Aufnahme!
Sport-Bolzplatz	40 mg/kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Quellen:				
AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEf-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf				
BfR (BUNDESINSTITUT FÜR Risikobewertung): Online unter: http://www.bfr.bund.de/de/start.html				

- Eikmann T, Heinrich U, Heinzow B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblatts.
- EU-VO 853/2004 Spezifische Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs zul. geänd. d. VO 2016/355, 3/2016
- IGS (Informationssystem für gefährliche Stoffe): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Online: http://igsvtu.la-nuv.nrw.de/igs_portal/index.htm
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2009): Kommission "Human-Biomonitoring - Neue und aktualisierte Referenzwerte für Antimon, Arsen und Metalle (Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber, Thallium und Uran) im Urin und im Blut von Kindern in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt, Band 52, Heft 10, S. 977-982
- 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 VO 2017/1237, 7/2017
- WeinV (2017): Weinverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. April 2009 (BGBl. I S. 827), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 5.7.2017, BGBl I 2017, 2272) geändert worden ist

Chrom

Bezeichnung	Chrom (CAS-Nr.: 7440-47-3)																
Vorkommen	<p>Chrom findet sich in der Natur fast ausschließlich in Form von Verbindungen der Oxidationsstufe +III. In biologischen Systemen und damit auch in Lebensmitteln, liegt Chrom zumeist in dreiwertiger Form vor.</p> <p>In der Umwelt auftretende Chrom (VI)-Verbindungen (Chromate) sind weitestgehend anthropogenen Ursprungs. Chromate werden beispielsweise in der Oberflächenveredelung, zur Lederverarbeitung und als Farbpigmente verwendet.</p> <p>Chrom wirkt als Chrom_{VI} vergleichsweise phytotoxischer als Chrom_{III}, wobei für geringe Chrom (VI)-Gehalte im Boden sogar stimulierende Wirkungen auf das Pflanzenwachstum beschrieben werden.</p>																
Humantoxikologische Bewertung	<p>Während Chrom_{III} in entsprechenden Dosen als lebensnotwendiges Spurenelement für den Menschen eingestuft wird (vgl. empfohlene Tagesdosis), gelten Chrom (VI)-Verbindungen im Vergleich dazu als deutlich toxischer, so dass eine differenzierte Betrachtung von Chromverbindungen in Abhängigkeit von der Oxidationsstufe erforderlich ist. Allerdings werden Chrom (VI)-Verbindungen im Organismus zum Teil zu Chrom_{III} reduziert.</p> <p>Toxikologische Bewertungen von Chrom werden überwiegend für Chrom (VI)-Verbindungen durchgeführt, wobei als bewertungsrelevanter Aufnahmepfad die inhalative Exposition angenommen wird. Als sensibelster Wirkendpunkt werden die kanzerogenen Wirkungen von Chrom (VI)-Verbindungen in der Lunge eingestuft.</p>																
Quantifizierung der Wirkung	<p><i>Quelle: UBA 1999ff</i></p> <table border="0"> <tr> <td data-bbox="252 1137 523 1167">orale Aufnahme - toxisch</td> <td data-bbox="667 1137 1086 1167">TRD: 5.000 ng/(kg KG*d)</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="667 1173 890 1202">Resorption: -</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="667 1209 1043 1238">SF (a,b,c,d): 500 (1,5,10,10)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="252 1252 571 1281">inhalative Aufnahme - toxisch</td> <td data-bbox="667 1252 975 1281">TRD: 50 ng/m³</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="667 1288 890 1317">Resorption: -</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="667 1323 1018 1352">SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="252 1366 624 1395">inhalative Aufnahme - kanzerogen</td> <td data-bbox="667 1366 1066 1395">Krebsrisiko 10⁻⁵: 0,83 ng/m³ (UR+)</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="667 1402 890 1431">Resorption: -</td> </tr> </table>	orale Aufnahme - toxisch	TRD: 5.000 ng/(kg KG*d)		Resorption: -		SF (a,b,c,d): 500 (1,5,10,10)	inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 50 ng/m ³		Resorption: -		SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)	inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 0,83 ng/m ³ (UR+)		Resorption: -
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 5.000 ng/(kg KG*d)																
	Resorption: -																
	SF (a,b,c,d): 500 (1,5,10,10)																
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 50 ng/m ³																
	Resorption: -																
	SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)																
inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 0,83 ng/m ³ (UR+)																
	Resorption: -																

Bezeichnung	Chrom (CAS-Nr.: 7440-47-3)
Nutzungsszenarien	Für alle Nutzungsszenarien dominieren die kanzerogenen Wirkungen nach inhalativer Exposition die Ableitung der Prüfwerte, wobei Erkenntnisse zur Wirkung von Chrom _{VI} die Grundlage für die Ableitung darstellen. Für Nutzgärten existiert kein Beurteilungswert für Chrom. Die Relevanz für die Beurteilung entsprechender humantoxischer Wirkungen über den Pflanzenpfad wird als eher nachrangig eingeschätzt.
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Der inhalative Aufnahmepfad ist aufgrund der inhalativen Wirksamkeit von Chrom (Kanzerogenität) beurteilungsbestimmend. • Die humantoxikologische Bewertung basiert auf Daten zu Chrom_{VI}, so dass zunächst Prüfwerte für Chrom_{VI} für Kinderspielflächen (130 mg Cr_{VI}/kg Boden), für Wohngebiete (260 mg Cr_{VI}/kg Boden), für Park- und Freizeitanlagen (650 mg Cr_{VI}/kg Boden) abgeleitet wurden. Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wurde jedoch berücksichtigt, dass der Anteil von Chrom_{VI} am Chrom_{gesamt} im Boden üblicherweise nicht mehr als 40 % beträgt. Daher wurden schließlich auf Chrom_{gesamt} bezogene Prüfwerte für Kinderspielflächen von 200 mg/kg Boden, für Wohngebiete von 400 mg/kg Boden und für Park- und Freizeitanlagen von 1.000 mg/kg Boden) abgeleitet. • Die Prüfwerte für Chrom_{gesamt} für Park- und Freizeitanlagen sowie für Industrie- und Gewerbegrundstücke sollen im Zuge der MantelVO/BBodSchV gesenkt werden. • In der MantelVO/BBodSchV sind die Prüfwerte für Chrom_{VI} benannt.
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): 20 mg/kg (Hintergrund) 75 mg/kg (Normalwert) 200 mg/kg (Auffälligkeitswert) Chrom _{VI} Kanzerogen, Allergen !
Empfohlene Tagesdosis	40 µg/d (RDA) nach EU-RL 2008/100/EG
Beurteilungswerte Lebensmittel	10 µg (je 100 kcal; Diätlebensmittel für Säuglinge) (EU-VO-2016/128) 15 µg (je 100 kcal Diätlebensmittel für Nicht-Säuglinge) (EU-VO-2016/128) 10 ppm Gelatine und Kollagen (EU-VO 853/2004) in anderen Ländern liegen z.T. weitere Grenzwerte vor (vgl. IGS NrW)
Trinkwasser	0,05 mg/l (Grenzwert TrinkwV 2016)
Weitere Verweise	Stellungnahmen des BfR (siehe auch das Untersuchungsprogramm BfR MEAL) Weitere Informationen finden sich bei EIKMANN 1999ff, IGS NrW, etc.

Expositionsabschätzung zu Chrom (CAS-Nr.: 7440-47-3)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	200 mg Cr _{gesamt} /kg 130 mg Cr _{VI} /kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Bestimmung von Chrom _{VI} / Feinkornfraktion < 63 µm
Wohngebiet	400 mg Cr _{gesamt} /kg 250 mg Cr _{VI} /kg			Bestimmung von Chrom _{VI} / Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen

Expositionsabschätzung zu Chrom (CAS-Nr.: 7440-47-3)				
Park- und Freizeitanlage	1.000 bzw. 400* mg Cr _{gesamt} /kg 650 bzw. 250* mg Cr _{VI} /kg			Bestimmung von Chrom _{VI} / Feinkornfraktion < 63 µm
Industrie- und Gewerbe	1.000 bzw. 200* mg Cr _{gesamt} /kg 650 bzw. 130* mg Cr _{VI} /kg			Bestimmung von Chrom _{VI} / Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositions- bedingungen
Nutzgarten	-	-	-	Relevanz unwahrscheinlich
Haus- und Kleingärten	200 mg Cr _{gesamt} /kg 130 mg Cr _{VI} /kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Bestimmung von Chrom _{VI} / Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositions- bedingungen Anbaufläche, Anbau- und Ver- zehrergewohnheiten
Sport-Bolzplatz	100 mg Cr _{gesamt} /kg 40 mg Cr _{VI} /kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Bestimmung von Chrom _{VI} / Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositions- bedingungen
*: Wert der MantelVO/BBodSchV				
Quellen:				
AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEf-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf				
BfR (BUNDESINSTITUT FÜR Risikobewertung): Online unter: http://www.bfr.bund.de/de/start.html				
BgVV (2002): Toxikologische und ernährungsphysiologische Aspekte der Verwendung von Mineralstoffen und Vitaminen in Lebensmitteln, Online: https://www.bfr.bund.de/cm/343/verwendung_von_mineralstoffen_und_vitaminen_in_lebensmitteln.pdf				
Eikmann T, Heinrich U, Heinzow B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblatts.				
EU-VO 853/2004 Spezifische Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs zul. geänd. d. VO 2016/355, 3/2016				
IGS (Informationssystem für gefährliche Stoffe): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Online: http://igsvtu.lanuv.nrw.de/igs_portal/index.htm				
UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin				

Nickel

Bezeichnung	Nickel (CAS-Nr.: 7440-02-0)																
Vorkommen	<p>Nickel kommt als Spurenelement ubiquitär in der Umwelt in Form leicht löslicher Salze oder schwer löslicher Verbindungen vor. Trotz dieser Unterschiede weisen die Ni-Verbindungen kaum toxikologische Unterschiede auf.</p> <p>Nickellegierungen haben günstige physikalische und chemische Eigenschaften und werden vielseitig verwendet. Neben reproduktionstoxischen Wirkungen nach inhalativer oder oraler Aufnahme kann Nickel insbesondere nach dermaletem Kontakt allergische Reaktionen hervorrufen.</p>																
Humantoxikologische Bewertung	<p>Für Nickel, das wahrscheinlich für den Menschen auch ein essentielles Element ist, steht dessen kanzerogenes Potenzial bei inhalativer Aufnahme im Vordergrund. Eine gesicherte Bewertung der kanzerogenen Wirkung wurde allerdings im Rahmen der Prüfwertableitung nicht für möglich erachtet. Schließlich haben vergleichende Expositionsrechnungen ergeben, dass die Wirkungen von Nickelverbindungen bei Inhalation und oraler Aufnahme bei Betrachtung nichtkanzerogener Effekte mit ca. 370 mg/kg ähnliche Bodenwerte liefert.</p> <p>Basierend auf den Erkenntnissen, dass Nickel oral wie inhalativ gleichsam wirksam ist, die kanzerogenen Wirkungen nicht quantifizierbar sind und Hinweise für eine erhöhte Sensibilität von Kindern gegenüber der kanzerogenen Wirkung vorliegen, wurden im Rahmen der Plausibilitätsprüfung die berechneten Werte durch 5 dividiert.</p>																
Quantifizierung der Wirkung	<p><i>Quelle: UBA 1999ff</i></p> <table> <tr> <td>orale Aufnahme - toxisch</td> <td>TRD: 80 ng/(kg KG*d)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: 6 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SF (a,b,c,d): 1.000 (1,10,10,10)</td> </tr> <tr> <td>inhalative Aufnahme - toxisch</td> <td>TRD: 10 ng/m³</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: -</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SF (a,b,c,d): 1.000 (10,1,10,10)</td> </tr> <tr> <td>inhalative Aufnahme - kanzerogen</td> <td>Krebsrisiko 10⁻⁵: 40 ng/m³ (UR+)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: -</td> </tr> </table>	orale Aufnahme - toxisch	TRD: 80 ng/(kg KG*d)		Resorption: 6 %		SF (a,b,c,d): 1.000 (1,10,10,10)	inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 10 ng/m ³		Resorption: -		SF (a,b,c,d): 1.000 (10,1,10,10)	inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 40 ng/m ³ (UR+)		Resorption: -
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 80 ng/(kg KG*d)																
	Resorption: 6 %																
	SF (a,b,c,d): 1.000 (1,10,10,10)																
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 10 ng/m ³																
	Resorption: -																
	SF (a,b,c,d): 1.000 (10,1,10,10)																
inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 40 ng/m ³ (UR+)																
	Resorption: -																

Bezeichnung	Nickel (CAS-Nr.: 7440-02-0)
Nutzungsszenarien	<p>Für die Nutzungsszenarien Kinderspielfläche, Wohngebiet und Park- und Freizeittfläche sind die beiden möglichen Aufnahmepfade (inhalativ und oral) gleichbedeutend und müssen parallel betrachtet werden, während im Szenario Industrie- und Gewerbegrundstück die inhalative Aufnahme die Beurteilung dominiert.</p> <p>Für Nutzgärten existiert kein Beurteilungswert für Nickel. Allerdings wurde in Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen ein Prüfwert für Ackerbauflächen (AN) abgeleitet, der zur Orientierung herangezogen werden kann.</p>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> Für Nickel sind der inhalative und der orale Aufnahmepfad bei der Betrachtung von Kinderspiel gleichbedeutend und daher beide in der Detailuntersuchung zu berücksichtigen Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wurde berücksichtigt, dass Nickel auch ein kanzerogenes, nicht zu quantifizierendes Potenzial hat und Kinder eine höhere Sensibilität gegenüber den kanzerogenen Wirkungen haben. Diese Aspekte führen zu einem Abschlag der berechneten Werte um den Faktor 5. Für Industrie- und Gewerbegrundstücke wird der für die inhalative Aufnahme berechnete Wert als Prüfwert übernommen. Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch wurde kein Prüfwert abgeleitet, allerdings wurde für Ackerbau ein Prüfwert für pflanzenverfügbares Nickel im AN in Hinblick auf Wachstumsdepressionen abgeleitet, der ggf. zur Orientierung herangezogen werden kann.

Bezeichnung	Nickel (CAS-Nr.: 7440-02-0)
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): 5 mg/kg (Hintergrund) 20 mg/kg (Normalwert) 30 mg/kg (Auffälligkeitswert) Kontaktallergen !
Empfohlene Tagesdosis	2,8 µg/d (TDI) nach EFSA (2015)
Beurteilungswerte Lebensmittel	k.A. Auswertungen zu Hintergrundexposition vgl. EFSA 2015
Trinkwasser	0,02 mg/l (Grenzwert TrinkwV 2018)
Weitere Verweise	Stellungnahmen des BfR bzgl. Nickel als Kontaktallergen Weitere Informationen finden sich bei EIKMANN 1999ff, IGS NrW, etc.

Expositionsabschätzung zu Nickel (CAS-Nr.: 7440-02-0)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	70 mg/kg	inhalative und orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit / Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm
Wohngebiet	140 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit / Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Park- und Freizeitanlage	350 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit / Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm
Industrie- und Gewerbe	900 mg/kg	inhalative Aufnahme	toxisch	Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Nutzgarten	1,5 mg/kg*	-	-	Anbaufläche, Anbau- und Verzehrsgewohnheiten Relevanz unwahrscheinlich
Haus- und Kleingärten	70 mg/kg	inhalative und orale Aufnahme	toxisch	Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm nutzungsabhängige Expositionsbedingungen Anbaufläche, Anbau- und Verzehrsgewohnheiten
Sport-Bolzplatz	250 mg/kg	inhalative Aufnahme	toxisch	Bestimmung in der Feinkornfraktion < 63 µm nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
*: Prüfwert für Ackerbau, gemessen im Ammoniumnitrat-Extrakt				
Quellen: AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub Online https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGÖF-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf				

BfR (BUNDESINSTITUT FÜR Risikobewertung): Online unter: <http://www.bfr.bund.de/de/start.html>

Eikmann T, Heinrich U, Heinzow B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblattsammlung

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>

IGS (Informationssystem für gefährliche Stoffe): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Online: http://igsvtu.lanuv.nrw.de/igs_portal/index.htm

UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin

Quecksilber

Bezeichnung	Quecksilber (CAS-Nr.: 7439-97-6, elementar)
Vorkommen	<p>Quecksilber ist ein Schwermetall, das in der Umwelt sowohl elementar, als auch in Form anorganischer und organischer Verbindungen auftritt. Hauptanwendungsbereiche sind bzw. waren Batterien, Leuchtstoffröhren, Thermometer, Farben, Holzschutzmittel, medizinische Anwendungen sowie die Zahnheilkunde (Amalgam). Organische Quecksilberverbindungen zur Pflanzenbehandlung sind in Deutschland mittlerweile nicht mehr zugelassen.</p> <p>Von den anorganischen Quecksilberverbindungen sind im Boden am häufigsten das lösliche Quecksilber(II)chlorid und das schwerlösliche Quecksilber(II)sulfid (Zinnober) oder elementares Quecksilber anzutreffen. Methylquecksilber als organische Verbindung kann z.B. infolge biotischer Methylierungsprozesse durch Boden-Mikroorganismen entstehen. Der prozentuale Anteil von Methylquecksilber am Gesamtquecksilbergehalt, liegt üblicherweise im Bereich von 0,1 – 1 %, kann aber in besonders mit Quecksilber kontaminierten Regionen bis zu 10 % betragen (Potgeter, 1998). In Moorböden können aufgrund der anaeroben Bedingungen auch bis zu 40 % des Gesamtquecksilbers als Methylquecksilber vorliegen (LITZ et al. 2004).</p> <p>Quecksilber ist bei Raumtemperatur flüchtig und kann auf Grund seines Dampfdruckes vergleichsweise leicht in die Umgebungsluft übergehen und somit inhalativ wirksam werden.</p>
Humantoxikologische Bewertung	<p>Die Besonderheit bei Quecksilber liegt in der unterschiedlichen Wirkweise von elementarem bzw. anorganisch oder organisch gebundenem Quecksilber. Während bei elementarem und organisch gebundenem Quecksilber Effekte auf das Nervensystem sowie fruchtschädigende Wirkungen im Vordergrund stehen, sind bei anorganischen Quecksilberverbindungen die Wirkungen auf Niere und das Immunsystem bewertungsrelevant. Insgesamt gelten organische Quecksilberverbindungen als vergleichsweise toxischer und besser resorbierbar.</p>
Quantifizierung der Wirkung	Quelle: UBA 1999ff

Quecksilber anorganisch (und elementar)	
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 15 ng/(kg KG*d) Resorption: (V) 7 % SF (a,b,c,d): 200 (10,1,10,2)
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 30 ng/(kg KG*d) Resorption: 80 % (Hg _{elementar}); 40 % (Hg _{anorg}) SF (a,b,c,d): 3 (1,1,1,3)

Quecksilber organisch	
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 50 ng/(kg KG*d) Resorption: (V) 100 % SF (a,b,c,d): 15 (1,5,1,3)
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: - Resorption: -
Nutzungsszenarien	<p>Während in den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeitflächen die toxischen Wirkungen nach oraler Exposition die Ableitung der Bodenwerte begründen, dominiert in den Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze im Prinzip die inhalative Aufnahme bodenbürtiger Stäube die Bewertung. Allerdings ergeben sich für Industrie- und Gewerbegrundstücke aufgrund der geringen inhalativen Wirksamkeit von Quecksilber unpraktikabel hohe Werte, so dass im Zuge der Plausibilitätsprüfung letztlich der zweifache Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen angesetzt wird, um sicherzustellen, dass es bei Einhaltung dieses Prüfwertes nicht zu sekundären Verunreinigungen auf umliegenden, ggf. empfindlicher genutzten Flächen kommen kann (durch Abschwemmung, Verwehung, etc.).</p> <p>Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze konnten nur geringe Zusammenhänge zwischen Boden- und Pflanzengehalten erkannt werden, so dass der Prüfwert im Wesentlichen auf Abschätzungen aus üblichen Hintergrundbelastungen basiert.</p>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund der unterschiedlichen Wirkweisen anorganischer und organischer Quecksilberverbindungen ist eine Prüfung der am Standort anzutreffenden Bindungsform bedeutsam. • Ist beispielsweise das Vorkommen organischer Quecksilberverbindungen unwahrscheinlich oder auszuschließen, kann die Bewertung anhand der Beurteilungswerte für anorganische Quecksilberverbindungen erfolgen. • Für anorganische Quecksilberverbindungen kann beispielsweise auch die Resorptionsverfügbarkeit überprüft werden, während dieses Verfahren beim organischen Quecksilber nicht zielführend ist (Verflüchtigung während der Extraktion). • Bei Hinweisen auf das Vorkommen elementaren Quecksilbers muss dessen Flüchtigkeit berücksichtigt werden und ggf. Bodenluftmessungen oder Raumluftmessungen durchgeführt werden (s.u.).
Beurteilungswerte Bodenluft	ggf. bei Hinweisen auf metallisches (elementares) Quecksilber prüfen!
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	<p>Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004):</p> <p>0,15 mg/kg (Hintergrund) 0,5 mg/kg (Normalwert) 1 mg/kg (Auffälligkeitswert)</p>
metallischer Dampf:	<p>Richtwerte der IRK UBA (1999):</p> <p>0,035 µg/m³ (Richtwert I) 0,35 µg/m³ (Richtwert II)</p>
Beurteilungswerte Lebensmittel	<p>EU-VO 1881/2006 (KontaminantenVO):</p> <p>0,5 mg/kg in Fischereierzeugnissen und Muskelfleisch von Fischen 1 mg/kg von bestimmten Fischen (siehe dort)</p>
Trinkwasser	0,001 mg/l (Grenzwert TrinkwV 2016)
Weitere Verweise	<p>Stellungnahmen des BfR, Stellungnahmen der Kommission Biomonitoring des UBA, Stoffmonographien und Stellungnahmen des RKI beim UBA</p> <p>Weitere Informationen finden sich bei EIKMANN 1999ff, IGS NrW, etc.</p> <p>Eine umfassende integrierte Bewertung von Quecksilber anhand der Erhebungen der Umweltprobenbank des Bundes (UPB) wurde 2015 vom Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin erstellt.</p>

Expositionsabschätzung für Quecksilber (gesamt)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	10 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Prüfung auf Bindungsform
Wohngebiet	20 mg/kg			
Park- und Freizeitanlage	50 mg/kg			
Industrie- und Gewerbe	80 / 100* mg/kg	inhalative Aufnahme Plausibilität	toxisch	Prüfung auf Bindungsform
Nutzgarten	5 mg/kg	oral	toxisch	Anbaufläche, Anbau- und Verzehr-gewohnheiten
Haus-/Kleingarten	5 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Prüfung auf Bindungsform
Sport-Bolzplatz	250 mg/kg	inhalative Aufnahme	toxisch	Prüfung auf Bindungsform

Expositionsabschätzung für Quecksilber (anorganisch)				
Kinderspiel	25 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit
Wohngebiet	50 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Park- und Freizeitanlage	120 mg/kg	Resorptionsverfügbarkeit		
Industrie- und Gewerbe	k. A.	inhalative Aufnahme	toxisch	Zugänglichkeit der Fläche, Lage zum Umfeld, Nutzungen im Umfeld prüfen Möglichkeiten sekundärer Verunreinigungen prüfen (ggf. RV oder Feinkornfraktion)
Nutzgarten	5 mg/kg	systemisch / Verschmutzung	toxisch	Anbaufläche, Anbau- und Verzehr-gewohnheiten
Hausgarten	25 / 5 mg/kg	orale Aufnahme systemisch / Verschmutzung	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Sport-Bolzplatz	250 mg/kg	inhalative Aufnahme	toxisch	Anbaufläche, Anbau- und Verzehr-gewohnheiten
				Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen

Expositionsabschätzung für Quecksilber (organisch)				
Kinderspiel	5 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Wohngebiet	10 mg/kg			
Park- und Freizeitanlage	25 mg/kg			
Industrie- und Gewerbe	k. A.	inhalative Aufnahme	toxisch	Zugänglichkeit der Fläche, Lage zum Umfeld, Nutzungen im Umfeld prüfen Möglichkeiten sekundärer Verunreinigungen prüfen und Prüfschritte auswählen (ggf. RV oder Feinkornfraktion)

Expositionsabschätzung für Quecksilber (organisch)				
Nutzgarten	k. A.	systemisch / Verschmutzung	toxisch	Anbaufläche, Anbau- und Verzehr- gewohnheiten
Hausgarten	5 mg/kg	orale Aufnahme / systemisch / Verschmutzung	toxisch	nutzungsabhängige Expositionsbe- dingungen
				Anbaufläche, Anbau- und Verzehr- gewohnheiten
Sport-Bolzplatz	k. A.	inhalative Aufnahme	toxisch	Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbe- dingungen
Quellen:				
AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEF-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf				
BfR (BUNDESINSTITUT FÜR Risikobewertung): Online unter: http://www.bfr.bund.de/de/start.html				
Eikmann T, Heinrich U, Heinzow B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblatts.				
Fraunhofer ITEM (2015): Integrierte Bewertung von Quecksilber anhand der Erhebungen der Umweltprobenbank des Bundes (UPB); im Auftrag des Umweltbundesamtes, Juli 2015. Online: https://www.umweltprobenbank.de/upb_static/fck/download/Endbericht_Integrierte_Bewertung_Hg_2015_08_10_Web.pdf				
IRK UBA (1999): Richtwerte für die Innenraumluft - Quecksilber, Bundesgesundheitsbl. 42 (1999) S.168-174. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/Quecksilber.pdf				
LITZ, N, WILCKE, W., WILKE, B.-M. (Hrsg.) (2004): Bodengefährdende Stoffe: Bewertung, Stoffdaten, Ökotoxikologie, Sanierung; ergänzbare Loseblattsammlung; WILEY-VCH Verlag, Weinheim				
Potgeter, H.; Entwicklung und Anwendung eines neuartigen Analysenverfahrens zur Bestimmung quecksilberorganischer Verbindungen in Sedimenten mit Hilfe eines gekoppelten SFC-AFS-Systems; Dissertation Universität Hamburg, 1998. Online: https://d-nb.info/956124275/34				
UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin				
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 VO 2017/1237, 7/2017				

Cyanide

Bezeichnung	Cyanide (CAS-Nr.: 57-12-5)																
Vorkommen	Cyanide sind die Salze der Blausäure. Sie dissoziieren in Wasser leicht unter Freisetzung des Cyanidions. Cyanwasserstoff (HCN) ist leicht flüchtig und gut wasserlöslich in Boden und Grundwasser. Der typische Geruch nach Bittermandelöl charakterisiert sein Vorkommen, beispielsweise auch in einer Vielzahl von Pflanzen (Obstkerne, Bittermandeln).																
Humantoxikologische Bewertung	Cyanide zeichnen sich durch eine hohe akute Toxizität aus. Sie blockieren die zelluläre Atmung und damit die Energiegewinnung. Die Akutwirkung der Cyanide betrifft hauptsächlich das Zentralnervensystem mit z.T. irreversiblen Schäden. Kontinuierliche Dosierungen im Tierversuch werden besser toleriert als einmalige Gaben																
Quantifizierung der Wirkung	<p><i>Quelle: UBA 1999ff</i></p> <table> <tr> <td>orale Aufnahme - toxisch</td> <td>TRD: 10 µg/(kg KG*d) (aber: akut: 0,56 mg/kg letal!)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: 100 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)</td> </tr> <tr> <td>orale Aufnahme - kanzerogen</td> <td>Krebsrisiko 10⁻⁵: -</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: -</td> </tr> <tr> <td>inhalative Aufnahme - toxisch</td> <td>TRD: 10 µg/(kg KG*d)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resorption: 70 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)</td> </tr> </table>	orale Aufnahme - toxisch	TRD: 10 µg/(kg KG*d) (aber: akut: 0,56 mg/kg letal!)		Resorption: 100 %		SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)	orale Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : -		Resorption: -	inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 10 µg/(kg KG*d)		Resorption: 70 %		SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 10 µg/(kg KG*d) (aber: akut: 0,56 mg/kg letal!)																
	Resorption: 100 %																
	SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)																
orale Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : -																
	Resorption: -																
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 10 µg/(kg KG*d)																
	Resorption: 70 %																
	SF (a,b,c,d): 10 (1,1,1,10)																
Nutzungsszenarien	<p>Aufgrund der hohen akuten Toxizität der Cyanide ist die Betrachtung der einmaligen Aufnahme von größeren Bodenmengen, wie sie bei Kleinkindern beim Spielen vorkommen kann, beurteilungsbestimmend. Da einmalige Bodenkontakte in allen Szenarien gleichermaßen möglich sind (das Vorliegen offenen Bodens vorausgesetzt), wird für die Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeitflächen gleichermaßen ein Prüfwert von 50 mg/kg abgeleitet.</p> <p>Im Nutzungsszenario Industrie- und Gewerbegrundstücke wird davon ausgegangen, dass höchstens ältere Kinder Zugang zu der Fläche haben können, so dass daher der Prüfwert in Hinblick auf einmalige Expositionen verdoppelt wird. .</p>																
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Beurteilungsrelevant sind einmalige (orale) Expositionen • Die Expositionsannahmen sind für alle drei Nutzungsszenarien (Kinderspielfläche, Wohngebiet, Park- und Freizeitanlage) gleich, für Industrie- und Gewerbegrundstücke verdoppelt. • Der Abstand zwischen letalen Wirkungen und ersten Vergiftungsercheinungen wird durch einen Faktor von 10 abgebildet. • Die Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit ist nicht geeignet, da das Verfahren die leicht freisetzbaren Cyanide nicht erfassen kann 																
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz																
Beurteilungswerte Innenraumluf (Staub)	keine																

Bezeichnung	Cyanide (CAS-Nr.: 57-12-5)
Beurteilungswerte Lebensmittel	0,1 - 1 mg/kg: pflanzliche Lebensmittel, Salatarten 6 mg/kg: Getreideerzeugnisse, Hülsenfrüchte, Kakaokerne, Ölsaaten, Rohkaffee, Tee, teeähnliche Erzeugnisse, Trockengemüse, Trockenkartoffeln, Trockenobst 15 mg/kg: Getreide, Gewürze) (RHmV, 2/2009); (vgl. IGS NrW 50 mg/kg HCN: Nougat, Marzipan 5 mg/kg HCN: Steinfruchtbstkonserven 35 mg/kg HCN: alkoholische Getränke (VO EG Nr. 1334/2008)
Bezeichnung	Cyanide (CAS-Nr.: 57-12-5)
Trinkwasser	0,05 mg/l (Grenzwert TrinkwV 2018)
Weitere Verweise	Mitteilungen des BfR (z.B. zu Marzipan und Persipan vom 03.03.2015) Weitere Informationen finden sich bei EIKMANN 1999ff, IGS NrW, etc.

Expositionsabschätzung für Cyanide (CAS-Nr.: 57-12-5)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	50 mg/kg	orale Aufnahme	akut toxisch	Bestimmung leicht freisetzbarer Cyanide (ersatzweise für Resorptionsverfügbarkeit)
Wohngebiet	50 mg/kg			
Park- und Freizeitanlage	50 mg/kg			
Industrie- und Gewerbe	100 mg/kg	orale Aufnahme	akut toxisch	
Nutzgarten	--	k.A.	k.A.	
Haus- und Kleingärten	50 mg/kg	orale Aufnahme	akut toxisch	
Sport-Bolzplatz	50 mg/kg (wie Park- und Freizeitanlage)	orale Aufnahme	akut toxisch	
Quellen:				
BfR (2015): Neue Daten aus BfR-Humanstudie: Kein Cyanid-Risiko bei Verzehr von Marzipan und Persipan, Mitteilung Nr. 006/2015 des BfR vom 3. März 2015, Online: https://www.bfr.bund.de/cm/343/neue-daten-aus-bfr-humanstudie-kein-cyanid-risiko-bei-verzehr-von-marzipan-und-persipan.pdf				
Eikmann T, Heinrich U, Heinzow B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblatts.				
IGS (Informationssystem für gefährliche Stoffe): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Online: http://igs.vtu.lanuv.nrw.de/igs_portal/index.htm				
UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin				
Verordnung über Höchstmengen an Rückständen von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, Düngemitteln und sonstigen Mitteln in oder auf Lebensmitteln (Rückstands-Höchstmengenverordnung, RHmV), in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Oktober 1999 (BGBl. I S. 2082; 2002 I S. 1004), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. März 2010 (BGBl. I S. 286) geändert worden ist.				
VERORDNUNG (EG) Nr. 1334/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln sowie zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 1601/91 des Rates, der Verordnungen (EG) Nr. 2232/96 und (EG) Nr. 110/2008 und der Richtlinie 2000/13/EG				

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material (z.B. Holz, Öl, Benzin, Dieselöl, Stroh) in Kraftwerken, Kleinfeuerungsanlagen und Motoren. Die Stoffgruppe umfasst mehrere Hundert Einzelsubstanzen, die aus miteinander verbundenen aromatischen Benzolringsystemen bestehen. Der kleinste und einfachste Vertreter ist das zweikernige Naphthalin, der bekannteste Vertreter der PAK ist das Benzo(a)pyren mit fünf Ringen. Mit Ausnahme von Naphthalin sind die PAK schwer flüchtig und gering wasserlöslich.

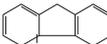
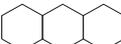
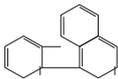
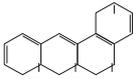
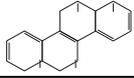
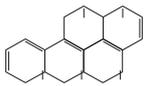
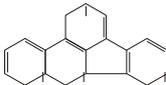
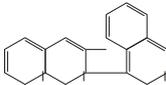
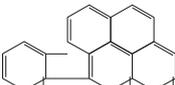
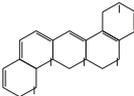
PAK werden im Boden hauptsächlich an die organische Substanz gebunden, wobei die Bindung mit zunehmender Molekularmasse und damit zunehmender Hydrophobie zunimmt. Die Kinetik, Bindungsstärke und Reversibilität der Sorption der PAK hängt dabei von verschiedenen Bestandteilen des Bodens ab, aber auch von Alterungsprozessen, die Abbau, Aufnahme und Transport verfügbarer Anteile beeinflussen können.

Die Zusammensetzung der PAK bei Kontaminationen im Bereich von Kokereien, Gaswerken oder Teermischwerken und Teerölagern schwankt insbesondere hinsichtlich der höher molekularen PAK in der Regel nur in bestimmten Grenzen. PAK aus Hausbrand oder Abgasen weisen eine vergleichbare Zusammensetzung auf und führen in urbanen Bereichen zu einer erhöhten Grundbelastung gegenüber ländlichen Bereichen (ZEDDEL 2016).

Aus der Stoffgruppe der PAK werden üblicherweise die 16 EPA-PAK untersucht, die im Jahre 1976 von der U.S. EPA in die "priority pollutant list" aufgenommen wurden und sich international als Referenzgrößen durchgesetzt haben. Darüber hinaus wird in vielen Fällen Benzo(a)pyren als Leitsubstanz stellvertretend für die Gruppe der PAK untersucht und bewertet. Bei Hinweisen auf Naphthalin, muss diesem Vertreter der PAK aufgrund seines vergleichsweise flüchtigen Verhaltens gesondert Beachtung gewidmet werden.

Nachfolgend wird zum einen das nach den aktuellen Vorgaben der BBodSchV vorgesehene Konzept der Bewertung von Benzo(a)pyren als Einzelsubstanz dargestellt. Hier beruht die Bewertung der oralen Aufnahme alleine auf den Wirkungen des BaP, untersucht im Tierversuch. Des Weiteren wird auch das Konzept zur Bewertung der Gruppe der PAK dargestellt, für das eine Empfehlung des Altlastenausschusses (ALA) der LABO vorliegt. In einigen Bundesländern (Schleswig-Holstein, Bayern, Niedersachsen) ist dessen Anwendung per Erlass vorgegeben ist.

Aus der Stoffgruppe der PAK werden üblicherweise die 16 EPA-PAK16 untersucht, die sich international als Referenzgrößen durchgesetzt haben. Diese Einzelstoffe vertreten eine Stoffgruppe von über 200 Einzelverbindungen, die unterschiedliche chemisch physikalische Eigenschaften aufweisen.

inzelverbindung	CAS-Nr.	Strukturformel	Summenformel	Anzahl der Ringe
Naphthalin	91-20-3		C ₁₀ H ₈	2
Acenaphtylen	208-96-8		C ₁₂ H ₈	3
Acenaphthen	83-32-9		C ₁₂ H ₁₀	3
Fluoren	86-73-7		C ₁₃ H ₁₀	3
Phenanthren	85-01-8		C ₁₄ H ₁₀	3
Anthracen	120-12-7		C ₁₄ H ₁₀	3
Pyren	129-00-0		C ₁₆ H ₁₀	4
Fluoranthen	206-44-0		C ₁₆ H ₁₀	4
Benz(a)anthracen	56-55-3		C ₁₆ H ₁₀	4
Chrysen	218-01-9		C ₁₆ H ₁₀	4
Benzo(ghi)perylen	191-24-2		C ₂₂ H ₁₂	6
Benzo(a)pyren	50-32-8		C ₂₀ H ₁₂	5
Benzo(b)fluoranthen	205-99-2		C ₂₀ H ₁₂	5
Benzo(k)fluoranthen	207-08-9		C ₂₀ H ₁₂	5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	193-39-5		C ₂₂ H ₁₂	6
Dibenz(a,h)anthracen	53-70-3		C ₂₂ H ₁₄	5

Während Einzelvertreter mit geringer Ringzahl, wie Naphthalin, Acenaphtylen, Acenaphthen, Fluoren sowie Phenanthren als vergleichsweise wasserlöslich anzusehen sind, steht bei den höher kondensierten Vertretern deren Lipophilie im Vordergrund. Darüber hinaus kann die räumliche Anordnung der Benzolringe im Molekül Hinweise auf die relative Stabilität der Verbindung und damit auf ihre Persistenz in der Umwelt geben. Die geringste Stabilität weisen PAK auf, deren Ringe linear konfiguriert (z.B. Anthracen) sind, während Einzelstoffe, deren Ringe angulär (getrepp) angeordnet sind, wie z.B. Phenanth-

ren und Chrysen, als stabil gelten. Für niedrig kondensierte PAK mit geringer Ringzahl (z.B. Naphthalin) ist mit einer Verflüchtigung aus wässrigen Lösungen (ausgedrückt durch die Henry-Konstante) zu rechnen.

PAK (Summe)

Bezeichnung	PAK (EPA-PAK ₁₆)
Vorkommen	PAK werden im Boden hauptsächlich an die organische Substanz gebunden, wobei die Bindung mit zunehmender Molekularmasse und damit zunehmender Hydrophobie zunimmt. Die Kinetik, Bindungsstärke und Reversibilität der Sorption der PAK hängt dabei von verschiedenen Bestandteilen des Bodens ab.
Humantoxikologische Bewertung	<p>PAK können oral, inhalativ (gasförmig oder partikulär gebunden) oder dermal aufgenommen werden und in den menschlichen Organismus gelangen.</p> <p>Die akute Toxizität der PAK ist mäßig bis gering. Nach langfristigen Expositionen stehen bei den höher kondensierten PAK mit 4 Ringen und mehr deren kanzerogene Wirkung im Vordergrund; toxische Wirkungen (Schädigung von Blut, Leber und Nieren, Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit, Embryotoxizität, immunsuppressive Wirkungen, schwache östrogene oder antiöstrogene Wirkungen) wurden für Vertreter der PAK mit 2-4 Ringen im Tierversuch bei Verabreichung hoher Dosen beobachtet.</p> <p>Naphthalin erfordert ein besonderes Augenmerk, sowohl was dessen physikalisch-chemische als auch toxikologische Eigenschaften anbetrifft (vgl. "Naphthalin").</p> <p>Während eine Quantifizierung der kanzerogenen Potenz mit Hilfe eines slope factors¹ auf Basis der vorliegenden Daten für die meisten der PAK nicht möglich ist, werden Konzepte für die Anwendung von Äquivalenzfaktoren diskutiert (KALBERLAH et al. 1999, RIVM 2001). Mit Hilfe dieses methodischen Ansatzes wird die relative Potenz von Einzelsubstanzen einer Stoffgruppe im Verhältnis zu einer Leitsubstanz angegeben. Üblicherweise wird Benzo(a)pyren als Leitsubstanz zur Betrachtung der Gruppe der PAK herangezogen.</p> <p>Für die Ableitung eines Prüfwertes für PAK wurden weitere Untersuchungen durchgeführt und ausgewertet, die der Tatsache Rechnung tragen, dass bei erhöhten BaP-Gehalten im Boden auch andere (toxikologisch relevante) PAK in einem bestimmten Mischungsverhältnis vorliegen, die es gilt in der Bewertung zu berücksichtigen.</p> <p>So wurde schließlich für die Ableitung der Prüfwerte eine lebenslang gesundheitlich akzeptable Körperdosis von 0,87 ng/kg Körpergewicht und Tag (für ein zusätzliches Krebsrisiko von 10⁻⁵) errechnet (FOBIG 1999). Die Auswertungen berücksichtigen, dass diese Dosis dem zusätzlichen Krebsrisiko von 10⁻⁵ bei oraler Exposition aller kanzerogenen EPA-PAK im Gemisch (untersucht im Steinkohleteer) entspricht.</p> <p>Kinder sind dabei als sensibelste Nutzergruppe anzusehen, da ihnen eine besondere Empfindlichkeit gegenüber gentoxischen Kanzerogenen zugesprochen wird. Vor diesem Hintergrund wurde für Benzo(a)pyren aufgrund von Daten aus Tierstudien ein zusätzlicher Empfindlichkeitsfaktor von 5 für die Berechnung der Prüfwerte vorgeschlagen (FOBIG 1999).</p>
Quantifizierung der Wirkung orale Aufnahme - kanzerogen	<p>Quelle: FoBIG (1999/2004)</p> <p>Krebsrisiko 10⁻⁵: 0,87 ng/(kg KG*d) (Leitsubstanz für Gruppe der PAK, untersucht in Steinkohlenteergemisch)</p> <p>Resorption: -</p>

¹ Slope factor: Kanzerogenes Risiko für eine lebenslang oral aufgenommene Dosis von beispielsweise 1 µg/(kg KG * Tag).

Bezeichnung	PAK (EPA-PAK ₁₆)
Nutzungsszenarien	Für den Wirkungspfad Boden-Mensch wurden in einzelnen Bundesländern (Bayern, Niedersachsen, Schleswig-Holstein) gemäß den Empfehlungen des Altlastenausschusses (ALA) der LABO folgende Prüfwerte für PAK, vertreten durch BaP als Bezugssubstanz, erlassen: Kinderspielflächen: 0,5 mg BaP/kg Wohngebiete: 1 mg BaP/kg (0,5 mg BaP/kg) Park- und Freizeitanlagen: 1 mg BaP/kg Industrie- und Gewerbe: 5 mg BaP/kg
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> Die Prüfwerte der genannten Erlasse betrachten BaP, dessen Wirkung durch Exposition gegenüber einem Steinkohlenteergemisch untersucht wurde. Damit repräsentiert der Gehalt des BaP die Wirkung des Gemisches. Kinder gelten als besonders empfindlich, so dass einzusätzlicher Sicherheitsfaktor von 5 berücksichtigt wurde. Der so errechnete Prüfwert für Kinderspielflächen beträgt 0,23 mg BaP/kg Boden Gleichzeitig wurde abgeschätzt, dass die dermale Exposition eine vergleichbare Relevanz hat. Unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastung (0,36 mg BaP/kg Boden) wurde der Prüfwert auf 0,5 mg BaP/kg Boden, bzw. 1 mg BaP/kg Boden festgelegt (vgl. FOBIG 1999, WBB 2001). <p><u>Vorgehensweise bei Prüfwertüberschreitung:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> Prüfung der PAK-Muster <ul style="list-style-type: none"> Abgleich mit Musterabweichungen Einzelfallprüfung bei Überschreitungen Prüfung der Summe der Toxizitätsäquivalente (Anteil BaP i.d.R. 30-60 %) Berücksichtigung der Hintergrundgehalte Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit (RV) der (hochmolekularen) PAK und Anwendung der ermittelten RV [%] auf BaP <p>Bei der Prüfung der Resorptionsverfügbarkeit nach DIN 19738:2017-06 ist anzumerken, dass das Verfahren nur für BaP sowie die höher kondensierten, kanzerogenen PAK mit 5 und mehr Ringen (Benzo(ghi)perylen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Indeno(1,2,3-cd)perylen, Dibenz(a,h)anthracen) validiert wurde (vgl. F+E-Bericht IFUA 2017, in Veröffentlichung)</p>
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz
Beurteilungswerte Innenraumluft	keine
Beurteilungswerte Lebensmittel	10 µg/kg Höchstgehalte, z.B. für Fette und Öle nach EU-VO 1881/2006 Summe von Benzo(a)pyren, Benzo(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthen und Chrysen

Bezeichnung	PAK (EPA-PAK ₁₆)
Trinkwasser	0,0001 mg/l Grenzwert TrinkwV (Summe aus Benzo(b)Fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren)
Weitere Verweise	Erlasse der Länder zur Bewertung von PAK, ZEDDEL (2016)

Quellen

- EIKMANN T, HEINRICH U, HEINZOW B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblattsammlung mit Ergänzungen
- FOBIG (FORSCHUNGS- UND BERATUNGSINSTITUTS GEFÄHRSTOFFE FOBIG GMBH) (1999): Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. – Bericht des Forschungs- und Beratungsinstituts Gefahrstoffe FoBiG GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes. – Freiburg.
- SCHNEIDER, K.; SCHUMACHER, U.; OLTMANN, J. et al. (2000): PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe). In: EIKMANN, TH., HEINRICH, U., HEINZOW, B., KONIETZKA, R. (1999): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Toxikologische Basisdaten und ihre Bedeutung, 2.Erg.-Lfg.IV/00, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- KALBERLAH, F.; HASSAUER, M.; KONIETZKA, D.; SCHNEIDER, K. / EIKMANN; HEINRICH; HEINZOW; KONIETZKA (1999): B: Methoden, Methode zur Ableitung von TRD-Werten, Band B010, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- RIVM (RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU) (2001): Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM Report 711 701 025
- WBB (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
- ZEDDEL, A. (2016): Prüfwerte für PAK. Bewertung Polyzyklischer Aromatischer Kohlenwasserstoffe bezüglich des Wirkungspfadens Boden-Mensch. Altlasten Spektrum, Heft 6, S. 213-219
- 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 VO 2017/1237, 7/2017
- Erlasse der Länder

Naphthalin

Bezeichnung	Naphthalin (CAS-Nr.:91-20-3)
Vorkommen	Naphthalin ist eine Verbindung aus zwei kondensierten Benzolringen. Die Hauptquellen des Eintrags sind Steinkohle-, Braunkohle-, Mineralöl- und Pyrolyseölverarbeitung, industrielle Prozesse sowie Kraftfahrzeugverkehr. Die Substanz wird als Insektizid, Antiseptum und Wurmmittel verwendet und ist Bestandteil von Mottenkugeln (typischer Geruch). Naphthalin ist wasserdampflich, leicht sublimierbar und schwerlöslich in Wasser.
Humantoxikologische Bewertung	Nach oraler, inhalativer oder dermalen Exposition führt Naphthalin im Tierversuch zum Abbau der roten Blutkörperchen und Blutarmut (hämolytische Anämie), zur Trübung der Linse (Katarakt des Auges), zentralnervösen Störungen sowie zu toxischen Effekten für den Fötus. Darüber hinaus besteht der Verdacht, dass Naphthalin nach inhalativer Aufnahme kanzerogen wirkt. Es liegen jedoch keine eindeutigen epidemiologischen Studien vor, die diesen Verdacht bestätigen.
Quantifizierung der Wirkung	Quelle: FoBIG 1999
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 30 µg/(kg KG*d) (Nephrotox, Hämatotox)
	Resorption: 85 %
	SF (a,b,c,d): 1.000 (10,1,10,10)
inhalative Aufnahme - toxisch	Referenzkonz.: 10 µg/m ³
	SF (a,b,c,d): 1.000 (1,10,10,10)
	Resorption: entfällt

Bezeichnung	Naphthalin (CAS-Nr.:91-20-3)
inhalative Aufnahme - kanzerogen	Eine quantitative Krebsrisikoabschätzung liegt nicht vor. Allerdings kann aus einer Studie an Mäusen (NTP 1992) eine Risikoabschätzung mit Hilfe der CEL _{min} -Methode ² durchgeführt werden, die ein Krebsrisiko von 1:100.000 (10 ⁻⁵) bei 2,7 µg/m ³ erwarten lässt (FoBIG 1999).
Nutzungsszenarien	Entsprechend der durchgeführten Plausibilitätsprüfung (FoBIG 1999) wurde für Kinderspielflächen der für Wohngebiete errechnete Wert ausgewiesen. Für Park- und Freizeitanlagen konnte kein Prüfwert ermittelt werden. Kinderspielflächen: 10 mg/kg Wohngebiete: 10 mg/kg Park- und Freizeitanlagen: - Industrie- und Gewerbe: 100 mg/kg
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> Naphthalin als flüchtiger Vertreter der PAK muss ggf. gesondert berücksichtigt werden, da der inhalative Aufnahmepfad bei entsprechend hohem Anteil an Naphthalin Bedeutung erlangen kann und daher mit zu berücksichtigen ist. Bei Hinweisen (z.B. Geruch) auf das Vorkommen von Naphthalin sind entsprechende Untersuchungen (Bodenluft und/oder Raumluft) sinnvoll.
Beurteilungswerte Bodenluft	10 mg/m ³ (orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe, LABO 2008)
Beurteilungswerte Innenraumluft	RWI: 0,01 mg/m ³ (vorläufig) (UBA-IRK 2013) RWII: 0,03 mg/m ³ (vorläufig) (UBA-IRK 2013)

² CEL_{min}-Methode: Vom UBA (vgl. KONIETZKA 1999) vorgeschlagene Methode zur Risikoabschätzung bei ungenügender Datenlage. Dazu wird die in einem Tierversuch ermittelte Konzentration (CEL_{min}) herangezogen, bei der ca. 10 % der Tiere kanzerogene Effekte zeigen (carcinogenic effect level). Unter Zuhilfenahme eines Sicherheitsfaktors von 10.000 wird schließlich CEL_{min}/10.000 ermittelt.

Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): < 0,1 mg/kg (Hintergrund) < 0,2 mg/kg (Normalwert) 0,2 mg/kg (Auffälligkeitswert)
Bezeichnung	Naphthalin (CAS-Nr.: 91-20-3)
Beurteilungswerte Lebensmittel	Keine Angaben
Grenzwert TrinkwV	Keine Angaben
Weitere Verweise	Vgl. Stoffprofile in ATSDR, IGS, GESTIS, HSDB
Quellen	
<p>AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEUF-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf</p> <p>ATSDR (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY): Toxicological profiles, National Technical Information Service (NTIS). Online: http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles</p> <p>FOBIG (FORSCHUNGS- UND BERATUNGSINSTITUTS GEFAHRSTOFFE FOBIG GMBH) (1999): Grundlagen für die Bewertung von Kontaminationen des Bodens mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. – Bericht des Forschungs- und Beratungsinstituts Gefahrstoffe FoBiG GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes. – Freiburg.</p> <p>GESTIS (Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften) Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz -BIA. Online: www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank</p> <p>HSDB (HAZARDOUS SUBSTANCES DATA BANK). National Library of Medicine (NLM), Bethesda, USA. Online: http://toxnet.nlm.nih.gov</p> <p>IGS (INFORMATIONSSYSTEM FÜR GEFÄHRLICHE STOFFE): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Online: http://igsvtu.lanuv.nrw.de/igs_portal/index.htm</p> <p>LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten – Informationsblatt für den Vollzug. Stand: 01.09.2008; https://www.labo-deutschland.de/documents/34_Infolblatt_Altlasten_01092008_e69_34f_2.pdf</p> <p>UBA-IRK (2013): Richtwerte für die Innenraumluft: Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen, Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumluftthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Bundesgesundheitsblatt 56 (10), S. 1448-1459</p>	

Benzo(a)pyren (BaP)

Bezeichnung	Benzo(a)pyren (CAS-Nr.: 50-32-8)
Vorkommen	Benzo(a)pyren gehört zur Gruppe der PAK und entsteht im Gemisch mit sehr vielen anderen Vertretern dieser Stoffgruppe als Produkt der unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen. Benzo(a)pyren wird häufig als Leitsubstanz für die Gruppe der PAK untersucht und bewertet. BaP verhält sich im Boden vergleichsweise wenig mobil und wird nur in geringem Maße von Pflanzen aufgenommen. Hier kommt eher der Verschmutzungspfad durch Auflagerung von Bodenpartikeln zum Tragen.
Humantoxikologische Bewertung	Die kanzerogenen Wirkungen von BaP, die nach oraler Aufnahme im Tierversuch und nach inhalativer Aufnahme in epidemiologischen Studien nachgewiesen wurde, sind ausschlaggebend für die humantoxikologische Bewertung. Ein in die BBodSchV eingeflossenes Konzept zur Beurteilung der Wirkung von PAK-Gemischen stellt die alleinige Betrachtung von Benzo(a)pyren als Leitsubstanz dar, dessen Wirkung stellvertretend für PAK-Gemische beurteilt wird.
Quantifizierung der Wirkung orale Aufnahme - kanzerogen inhalative Aufnahme - kanzerogen	<i>Quelle: UBA 1999ff</i> Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 1,4 ng/(kg KG*d) (Einzelsubstanz) Resorption: (50 %) Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 0,14 ng/m ³ (UR+, BaP als Leitsubstanz für Kokereiemissionen) Resorption: (50 %)
Nutzungsszenarien	Während in den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeittflächen die kanzerogenen Wirkungen nach oraler Exposition die Ableitung der Bodenwerte bestimmen, dominiert in den Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze die kanzerogene Wirkung nach Inhalation. In Nutzgärten bestimmt der Verschmutzungspfad den Transfer vom Boden in die Nutzpflanze.

Bezeichnung	Benzo(a)pyren (CAS-Nr.: 50-32-8)
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Zur Ableitung der Prüfwerte wurde die im Tierversuch nachgewiesene Wirkung von Benzo(a)pyren nach oraler Aufnahme herangezogen, ohne Berücksichtigung des Wirkpotenzials der Gruppe der PAK (s.o.). • Es gibt auch Hinweise auf dermale Aufnahme der PAK, die insbesondere als lokal wirksame Kanzerogene zu erhöhten Tumorinzidenzen der Haut führt (vgl. SCHNEIDER et al. 2000). • In einigen Bundesländern (Niedersachsen, Bayern, Schleswig-Holstein) wurde die Bewertung der Gruppe der PAK bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch per Erlass geregelt. Informationen dazu finden sich unter "PAK".
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz
Beurteilungswerte Innenraumluft	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): < 0,05 mg/kg (Hintergrund) < 0,2 mg/kg (Normalwert) 0,2 mg/kg (Auffälligkeitswert)
Beurteilungswerte Lebensmittel	1-10 µg/kg Höchstgehalte verschiedener Lebensmittel nach EU-VO 1881/2006 (insbesondere geräucherte Produkte, Gewürze, Kakao) 1 µg/kg Käse und Erzeugnisse (Käseverordnung; vgl. IGS NrW)
Trinkwasser	0,01 µg/l (Grenzwert TrinkwV 2016)

Weitere Verweise	Weitere Informationen finden sich bei EIKMANN 1999ff, BfR
-------------------------	---

Benzo(a)pyren (CAS-Nr.: 50-32-8)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkend- punkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	2 mg/kg	orale Aufnahme	kanzerogen	Resorptionsverfügbarkeit
Wohngebiet	4 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit nutzungsabhängige Expositi- onsbedingungen
Park- und Freizeitanlage	10 mg/kg	orale Aufnahme	kanzerogen	Resorptionsverfügbarkeit
Industrie- und Gewerbe	12 mg/kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Feinkornfraktion < 63 µm nutzungsabhängige Expositi- onsbedingungen
Nutzgarten	1 mg/kg	Verschmutzung	-	Anbaufläche, Anbau- und Ver- zehrgeohnheiten
Haus- und Kleingar- ten	2 mg/kg	orale Aufnahme	kanzerogen	Resorptionsverfügbarkeit nutzungsabhängige Expositi- onsbedingungen Anbaufläche, Anbau- und Ver- zehrgeohnheiten
Sport-Bolzplatz	4 mg/kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Feinkornfraktion < 63 µm nutzungsabhängige Expositi- onsbedingungen

Quellen

BfR (BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG): Online unter: <http://www.bfr.bund.de/de/start.html>

EIKMANN T, HEINRICH U, HEINZOW B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblattsammlung - mit Ergänzungen

IGS (INFORMATIONSSYSTEM FÜR GEFÄHRLICHE STOFFE): Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Online: http://igsvtu.lanuv.nrw.de/igs_portal/index.htm

SCHNEIDER, K.; SCHUMACHER, U.; OLTMANN, J. et al. (2000): PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe). In: EIKMANN, TH., HEINRICH, U., HEINZOW, B., KONIETZKA, R. (1999): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Toxikologische Basisdaten und ihre Bedeutung, 2.Erg.-Lfg.IV/00, Erich Schmidt Verlag, Berlin

UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin

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 VO 2017/1237, 7/2017

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

Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel dienen dem Schutz von Pflanzen, Pflanzenteilen oder Pflanzenprodukten (Erntegut, Saatgut) gegen mikrobielle, pilzliche, pflanzliche bzw. tierische Schädlinge, der Beeinflussung der Pflanzenproduktion sowie der Bekämpfung von Hygieneschädlingen.

Hexachlorcyclohexan (HCH-Gemisch oder γ -HCH)

Bezeichnung	Hexachlorcyclohexan (HCH, technisch: CAS-Nr.: 608-73-1)
Vorkommen	Hexachlorcyclohexan (HCH) ist ein monozyklischer chlorierter Kohlenwasserstoff und kommt in der Umwelt nicht natürlich vor. Je nach äquatorialer oder axialer Position der Chlorsubstituenten werden 8 Stereoisomere unterschieden, von denen 5 in nennenswerter Menge in technischem HCH (t-HCH) enthalten sind und nur eines (γ -HCH) insektizide Wirkung aufweist. Überwiegend besteht t-HCH aus α -HCH (65-79 %), β -HCH (7-20 %), δ -HCH (6-10 %) und ϵ -HCH (3-4 %). Der Anteil von γ -HCH (Lindan) beträgt lediglich 14-15 %. Da α - und γ -Isomere flüchtiger sind als das β -Isomer und sich t-HCH durch abiotische und biotische Vorgänge über α -HCH und δ -HCH zu β -HCH, dem stabilsten Isomer, umwandelt, reichert sich β -HCH in Böden an. Für t-HCH besteht in Deutschland ein Anwendungsverbot für Pflanzenschutzmittel. Aufgrund ihrer hohen Lipophilie und schlechten biologischen Abbaubarkeit werden HCH in Organismen akkumuliert.
Humantoxikologische Bewertung	Hinsichtlich humantoxikologischer Wirkungen zeigen die HCH-Isomere unterschiedliche Toxizitätsprofile. Akut wirken γ -HCH sowie auch α -HCH toxischer als das β -Isomer, während aufgrund der hohen Akkumulationstendenz β -HCH bei längerer Exposition die höchste Toxizität aufweist. HCH können oral, inhalativ und dermal aufgenommen werden und in den Organismus gelangen, wobei für die orale und inhalative Aufnahme eine Resorptionsquote von 100 % angenommen wird, für dermale Expositionen werden Resorptionsquoten von 40 % beschrieben. Als sensibelste Effekte haben sich sowohl nach kurzfristiger wie auch nach langfristiger Exposition die hepatotoxischen Effekte gezeigt, die auf der Freisetzung lysosomaler Enzyme (saure Phosphatase, β -Glucosidase, Katalase, D) basieren und die durch Schädigung lysosomaler Membranen hervorgerufen werden.
Quantifizierung der Wirkung	<i>Quelle: UBA 1999ff</i>
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 20 ng/(kg KG*d) (Hepatotoxizität) Resorption: 100 % SF (a,b,c,d): 1000 (10, 1,10,10)
orale Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10^{-5} : 6 ng/(kg KG*d) (UR+) Resorption: 100 %
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: 5 ng/(kg KG*d) (Hepatotoxizität) Resorption: 100 % SF (a,b,c,d): 1000 (10, 1,10,10)
inhalative Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10^{-5} : 20 ng/m ³ (UR+) Resorption: 100 %

Nutzungsszenarien	In den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeittflächen bestimmen die toxischen Wirkungen nach oraler Aufnahme die Ableitung der Bodenwerte. Für die Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze konnten für die inhalative Aufnahme keine Berechnungen durchgeführt werden, da hierfür keine abgesicherten Bewertungsgrundlagen vorliegen. Prüfwerte wurden daher pragmatisch abgeschätzt. In Nutzgärten dominiert der Verschmutzungspfad die Schadstoffzufuhr über den Verzehr von Gemüse und Obst.
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> HCH-Isomere haben eine unterschiedlich hohe Toxizität. Die Festlegung auf Basis einzelner TRD-Werte erschien jedoch nicht sinnvoll, da HCH oft als Gemisch vorliegt oder abiotische und biologische Isomerisierungen stattfinden, so dass in vielen Fällen Mischexpositionen zu erwarten sind. Um der additiven Wirkung der HCH-Isomere Rechnung zu tragen, wurde für Mischexpositionen ein TRD-Wert von 0,02 µg/(kg KG * Tag) für alle HCH-Isomere abgeleitet, wobei gilt: Summe HCH = $\frac{\text{Dosis } \alpha\text{-HCH}}{5} + \text{Dosis } \beta\text{-HCH} + \frac{\text{Dosis } \gamma\text{-HCH}}{16,5}$ Zur Berechnung der Prüfwerte der BBodSchV wird für die Betrachtung langfristiger Wirkungen eine vergleichende Berechnung sowohl für die hepatotoxischen wie auch für die kanzerogenen Wirkungen hinsichtlich der Risikoabschätzung für technisches HCH durchgeführt. Bei den dort zugrunde gelegten Expositionsszenarien ergeben sich jedoch für die toxischen Wirkungen die etwas niedrigeren Beurteilungsmaßstäbe. Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch liegen keine Beurteilungsmaßstäbe vor.
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): <u>Hintergrund:</u> < 0,1 mg/kg (γ-HCH; Lindan) <u>Normalwert:</u> < 0,1 mg/kg (γ-HCH; Lindan) <u>Auffälligkeitswert:</u> 0,1 mg/kg (γ-HCH; Lindan)
Beurteilungswerte Lebensmittel	Aufgrund des Anwendungsverbotes ist HCH in Anlage 5 der Rückstands-Höchstmengenverordnung (RHmV), zuletzt geändert 2010, nicht enthalten.
Trinkwasser	0,0001 mg/l (Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und Biozidprodukt-Wirkstoffe) als Einzelsubstanz (TrinkwV 2018)
Weitere Verweise	vgl. UBA, EIKMANN, IGS, BfR, etc.

Hexachlorcyclohexan (HCH, technisch: CAS-Nr.: 608-73-1)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	5 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit*
Wohngebiet	10 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit*
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Park- und Freizeitanlage	25 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit*
Industrie- und Gewerbe	400 mg/kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen

Nutzgarten	0,05** mg/kg (Prüfwert für Grünlandflächen)	Verschmutzung / Gaspfad	toxisch	Anbaufläche, Anbau- und Ver- zehrergewohnheiten
Hausgarten	5 / 0,05** mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit*
				nutzungsabhängige Expositions- bedingungen
				Anbaufläche, Anbau- und Ver- zehrergewohnheiten
Sport-Bolzplatz	k.A.	---	---	Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositions- bedingungen
<p>*) Die Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit wurde zwar im Rahmen der Überprüfung der DIN 19738 validiert, allerdings zählt die Untersuchung dieses Parameters nicht zu den praxisüblichen Verfahren, so dass die laborseitige Machbarkeit im Vorfeld zu klären ist. Ein Forschungsvorhaben mit Screeninguntersuchungen zur Implementierung der DIN 19738 und Bewertung der Resorptionsverfügbarkeit von organischen Schadstoffen im Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung läuft derzeit beim UBA unter der FKZ 3718 74 299 0</p> <p>**) Es wird angenommen, dass für HCH der systemische Pfad über die Wurzel in andere Pflanzenteile eine Rolle spielt. Ansteigende Bodengehalte von HCH führen zu höheren Gehalten in Pflanzen. Auch eine Aufnahme von HCH aus der Gasphase über die Blätter ist möglich. So wurde ein Prüfwert für HCH von 0,05 mg/kg Boden für Grünland mit dem Schutzziel Futtermittelqualität abgeleitet (MantelVO/BBodSchV).</p>				
<p>Quellen:</p> <p>AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEf-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf</p> <p>EIKMANN T, HEINRICH U, HEINZOW B. (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblattsammlung</p> <p>Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung vom 10. November 1992 (BGBl. I S. 1887), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. November 2013 (BGBl. I S. 4020) geändert worden ist</p> <p>RHmV - Rückstands-Höchstmengenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Oktober 1999 (BGBl. I S. 2082; 2002 I S. 1004), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. März 2010 (BGBl. I S. 286) geändert worden ist.</p> <p>UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin</p>				

Polychlorierte Biphenyle (PCB₆)

PCB sind synthetische Produkte, die durch Chlorierung von Biphenyl hergestellt werden und eine Verbindungsklasse von insgesamt 209 verschiedenen Kongeneren umfassen. Die einzelnen Verbindungen unterscheiden sich in ihrem Chlorierungsgrad sowie der Stellung der Chloratome am Biphenylgerüst.

PCB wurden als Kühl- und Isoliermittel in der Elektroindustrie, als Hydraulikflüssigkeit in der Maschinenindustrie und als Wärmeübertragungsflüssigkeit in vielen Industriezweigen eingesetzt (geschlossene Anwendung). Zugleich dienten sie auch als Weichmacher und Brandverzögerer für Lacke, Farben, Klebstoffe, Dichtungsmassen, Kunststoffe und Verpackungsmittel (offene Anwendung). Zum Einsatz kamen PCB-Gemische mit ca. 20-68 % Chlorierungsgrad. In den Handelsnamen wie z.B. Aroclor 1248 ist der Chloranteil (48 % Chlor) erkennbar.

Die Produktion und Anwendung von PCB ist in Deutschland seit den 1980er Jahren verboten. Dennoch werden sie aufgrund ihrer Persistenz und ihrem Potenzial, sich in der Nahrungskette anzureichern, auch heute noch in zahlreichen Umweltmedien nachgewiesen (EIKMANN et al. 1999; UBA 2011).

Grundsätzlich können sich PCB-Gemische in ihrer Zusammensetzung erheblich unterscheiden. In der Umwelt reichern sich einzelne PCB-Kongeneren unterschiedlich an und ergeben - im Vergleich zu den in die Umwelt emittierten technischen PCB-Gemischen - abweichende Zusammensetzungen in den Umweltmedien.

Die Messung der Konzentrationen aller potentiell auftretenden 209 PCB-Kongeneren in Umweltmedien und im Organismus wäre sehr aufwändig und deshalb in der Praxis nicht sinnvoll. Daher wurden verschiedene Versuche unternommen, geeignete Leitsubstanzen auszuwählen, die eine Extrapolation auf den PCB-Gesamtgehalt erlauben. Nach einem in der Bundesrepublik Deutschland üblichen Verfahren wird der Gesamt-PCB-Gehalt aus der Summe der Gehalte von sechs Leitsubstanzen und Multiplikation mit dem Faktor 5 abgeschätzt. Es sind dies die PCB-Kongeneren 28, 52, 101, 138, 153 und 180. Diese Summe (PCB₆) wird als geeigneter Indikator für das Vorkommen von nicht dioxin-ähnlichen ndl- PCB in der Nahrungskette, für die PCB-Belastung der Umwelt und für die PCB-Exposition des Menschen betrachtet (UBA 2015)³.

Für die Beurteilung der von PCB und PCDD/F verursachten dioxinähnlichen Wirkungen werden 12 Verbindungen aus der Gruppe der PCB sowie 17 Kongeneren der Dioxine und Furane analytisch bestimmt. Nachfolgend findet sich eine Übersicht der sechs Leitkongeneren der non-dl-PCB sowie der 12 Leitkongeneren der dl- PCB.

³ Seit 2008 muss in Deutschland für die Untersuchung von festen Abfällen auf PCB die europäische Norm DIN EN 15308 angewandt werden. Gemäß dieser Norm muss, neben den sechs Indikator-PCB, zusätzlich auch PCB-118 (das zu den dl-PCB zählt) bestimmt werden. Die Gesamt-PCB-Konzentration von PCB-haltigen Materialien wird jedoch wie bisher als „Summe der Konzentrationen der sechs Indikator-PCB, multipliziert mit dem Faktor 5“, berechnet (UBA 2015).

Typ	IUPAC	Struktur	WHO-TEF (1998)	WHO-TEF (2005)
Non-dl-PCB (nicht dioxinähnliche PCB)				
PCB₆ (Ballschmitter)	PCB-28	2,4,4'-TriCB	Beurteilung toxischer Wirkungen mit Hilfe des TRD-Wertes von 15 ng/(kg KG*d)	
	PCB-52	2,2',5,5'-TetraCB		
	PCB-101	2,2',4,5,5'-PentaCB		
	PCB-138	2,2',3,4,4',5'-HexaCB		
	PCB-153	2,2',4,4',5,5'-HexaCB		
	PCB-180	2,2',3,4,4',5,5'-HeptaCB		
dl-PCB (coplanare dioxinähnliche PCB)				
non-ortho-PCB	PCB-77	3,3',4,4'-TetraCB	0,0001	0,0001
	PCB-81	3,4,4',5-TetraCB	0,0001	0,0003
	PCB-126	3,3',4,4',5-PentaCB	0,1	0,1
	PCB-169	3,3',4,4',5,5'-HexaCB	0,01	0,03
mono-ortho-PCB	PCB-105	2,3,3',4,4'-PentaCB	0,0001	0,00003
	PCB-114	2,3,4,4',5-PentaCB	0,0005	0,00003
	PCB-118	2,3',4,4',5-PentaCB	0,0001	0,00003
	PCB-123	2',3,4,4',5-PentaCB	0,0001	0,00003
	PCB-156	2,3,3',4,4',5-HexaCB	0,0005	0,00003
	PCB-157	2,3,3',4,4',5'-HexaCB	0,0005	0,00003
	PCB-167	2,3',4,4',5,5'-HexaCB	0,00001	0,00003
	PCB-189	2,3,3',4,4',5,5'-HeptaCB	0,0001	0,00003

Die Beurteilung der Toxizität der Kongenere erfolgt mit Hilfe von Toxizitätsäquivalenten (TEQ). Die höchste Giftigkeit weisen das 2,3,7,8 Tetrachlordibenzodioxin (TCDD), das maßgeblich beim Unfall in Seveso (1976) freigesetzt wurde, sowie das 1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin auf. Diesen Kongeneren wird ein Toxizitätsäquivalent von jeweils 1 zugeordnet. Allen anderen relevanten Einzelsubstanzen werden im Vergleich Toxizitätsäquivalente <1 zugeordnet. Die Summe der Toxizitätsäquivalente der Einzelverbindungen in einer Probe ergibt die Gesamtoxizität der Probe (TEQ-Wert) (vgl. UBA 2015).

Darüber hinaus können industriell hergestellte PCB mit polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (PCDD/F, kurz: Dioxine) kontaminiert sein. In technischen PCB-Gemischen ist zwar der Anteil der PCDD/F meist unter 10 %, jedoch können durch partielle Oxidation (z.B. bei unvollständiger Verbrennung oder katalytische Konversion) aus den PCB PCDD/F gebildet werden. Aus diesem Grund ist bei Vorliegen von PCB in Böden eine mögliche gleichzeitige Kontamination durch PCDD/F zu prüfen (vgl. z.B. EIKMANN et al. 1999; LUA 2002, UBA 2015).

Bezeichnung	PCB ₆ (PCB-Kongenere 28, 52, 101, 138, 153 und 180)
<p>Vorkommen</p>	<p>PCB gelangten historisch überwiegend durch Einträge aus Produkten über die Atmosphäre in die verschiedenen Umweltkompartimente und sind dort in Böden und Sedimenten gespeichert. PCB haben lipophile und hydrophobe Eigenschaften und können durch pflanzliche und tierische Biota aufgenommen werden. Das Potential für Abbau und Verstoffwechslung/Ausscheidung im tierischen Organismus ist relativ gering und führt zur Bioakkumulation insbesondere höher chlorierter PCB in der Nahrungskette. Aufgrund ihrer Eigenschaften als persistente Organische Schadstoffe (POP von <i>persistent organic pollutants</i>) finden sich PCB heute ubiquitär in der Umwelt.</p> <p>Aufgrund ihrer Lipophilie und sehr schlechten biologischen Abbaubarkeit reichern sich PCB in Organismen an. Im Menschen finden sich PCB insbesondere im Fettgewebe, im Blutserum sowie in der Muttermilch.</p> <p>Da der Kenntnisstand für eine selektive Beurteilung der Einzelkongenere noch nicht ausreicht, basiert die Risikoabschätzung nach aktuellem Stand weiterhin auf Konventionen zur Berechnung der PCB-Gesamtbelastung, ausgehend von einigen Leitverbindungen (s.o.)</p>
<p>Humantoxikologische Bewertung</p>	<p>Nach Exposition wurden beim Menschen Schädigungen der Haut, des Nervensystems und der Leber sowie immunologische Effekte und Schädigungen von Kindern PCB-exponierter Mütter beobachtet. Im Niedrigdosis-Bereich stehen jedoch Wirkungen auf die Entwicklung des Zentralnervens- und des Immunsystems bei Säuglingen und Kleinkindern im Vordergrund. Humandaten zur Kanzerogenität von PCB zeigen sich widersprüchlich.</p> <p>Aufgrund belegter sekundär genotoxischer und promovierender Wirkung der PCB in höheren Dosisbereichen wird von einer Wirkschwelle ausgegangen.</p>
<p>Quantifizierung der Wirkung</p> <p>orale Aufnahme - toxisch</p> <p>inhalative Aufnahme - kanzerogen</p>	<p><i>Quelle: UBA 1999ff</i></p> <p>TRD: 15 ng/(kg KG*d)</p> <p>Resorption: 100 %</p> <p>SF (a,b,c,d): 300 (1, 10,3,10)</p> <p>entfällt</p>
<p>Nutzungsszenarien</p>	<p>In den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeittflächen bestimmen die toxischen Wirkungen nach oraler Aufnahme die Ableitung der Bodenwerte. Für die Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze konnten für die inhalative Aufnahme keine Berechnungen durchgeführt werden, da hierfür keine abgesicherten Bewertungsgrundlagen vorliegen. Prüfwerte wurden daher pragmatisch abgeschätzt.</p> <p>In Nutzgärten dominiert der Verschmutzungspfad die Schadstoffzufuhr über den Verzehr von Gemüse und Obst.</p>
<p>Besonderheiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Gruppe der PCB kann eingeteilt werden, in die nichtdioxin-ähnlichen PCB (ndl-PCB) sowie in die dioxinähnlichen PCB (dl-PCB). • Die ndl-PCB können mit Hilfe der PCB₆ (nach Ballschmitter) untersucht und mit Hilfe der Prüfwerte bewertet werden. Bei Bestimmung von PCB-Gesamt sind die Ergebnisse durch den Faktor 5 zu dividieren. • Die dl-PCB sind mit Hilfe der Toxizitätsäquivalente (nach WHO-TEF 2005) als Summe zu bewerten. In der MantelVO/BBodSchV (Stand 2017) werden die Maßnahmenwerte für die Summe der Dioxine und Furane <u>und</u> der dl-PCB ausgewiesen. • Partikulär gebundene PCB können sich von außen in der Wachsschicht, der Kutikula anreichern. Die anhaftende Verschmutzung, die insbesondere bei Futtermittel eine Rolle spielt, ist abhängig von der Pflanzenart (z.B. weist Gras häufig höhere Bodenanteile auf als Mais), sowie der Bodenart und der Erntetechnik (beispielsweise 1-2 oder 5 cm über dem Erdreich).

Bezeichnung	PCB ₆ (PCB-Kongenere 28, 52, 101, 138, 153 und 180)
	<ul style="list-style-type: none"> Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch liegen keine Beurteilungsmaßstäbe vor. Nutztiere wie Rinder, Schafe und Hühner können bei der Nahrungsaufnahme anhaftenden Boden (Verschmutzungspfad) und die darin enthaltenen PCB aufnehmen und im Gewebe anreichern.
Beurteilungswerte Bodenluft	Keine Relevanz
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	<p>Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004):</p> <p><u>Hintergrund:</u></p> <p>< 0,02 mg/kg (PCB28, PCB 52) < 0,01 mg/kg (PCB101, PCB 138, PCB 153, PCB 180)</p> <p><u>Normalwert:</u></p> <p>< 0,02 mg/kg (PCB 28, PCB 52) 0,02 mg/kg (PCB 101) 0,05 mg/kg (PCB 138, PCB 153) 0,03 mg/kg (PCB 180)</p> <p><u>Auffälligkeitswert:</u></p> <p>0,02 mg/kg (PCB 28, PCB 52) 0,2 mg/kg (PCB 101) 0,4 mg/kg (PCB 138, PCB 153) 0,3 mg/kg (PCB 180) 5 mg/kg (PCB₆)</p>
Beurteilungswerte Lebensmittel	<ul style="list-style-type: none"> 0,001 mg PCB₆/kg FM (Lebensmittel für Säuglinge u. Kleinkinder) (VO (EU) Nr. 1259/2011) 0,000002 mg Dioxine/dl-PCB_{WHO-PCDD/F-PCB-TEQ}/kg FM (Lebensmittel für Säuglinge u. Kleinkinder) (VO (EU) Nr. 1259/2011) Höchstgehalte für Dioxine und dl-PCB für tierische Produkte (vgl. VO (EG) Nr. 1881/2006 und Verordnung (EU) Nr. 1067/2013)
Trinkwasser	keine
Weitere Verweise	vgl. UBA, EIKMANN, etc.

PCB ₆ (PCB-Kongenere 28, 52, 101, 138, 153 und 180)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	0,4 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit*
Wohngebiet	0,8 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit* nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Park- und Freizeitanlage	2 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit*
Industrie- und Gewerbe	40 mg/kg	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Feinkornfraktion < 63 µm nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Nutzgarten	0,2 mg/kg** (Maßnahmenwert für Grünlandflächen)	Verschmutzung	toxisch	Anbaufläche, Anbau- und Verzehrgewohnheiten

PCB₆ (PCB-Kongenere 28, 52, 101, 138, 153 und 180)				
Hausgarten	0,4 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit*
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
				Anbaufläche, Anbau- und Verzehrgeohnheiten
Sport-Bolzplatz	-	inhalative Aufnahme	kanzerogen	Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
<p>*) Die Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit wurde zwar im Rahmen der Überprüfung der DIN 19738 validiert, allerdings zählt die Untersuchung dieses Parameters nicht zu den gängigen Verfahren, so dass die Kosten zur Durchführung derzeit vergleichsweise hoch anzusetzen sind.</p> <p>**) Derzeit liegt noch kein Prüfwert für PCB für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze vor. Lediglich für Grünlandnutzung wurde ein Maßnahmenwert für Grünlandflächen (in Hinblick auf die Anreicherung von PCB in der Nahrungskette) abgeleitet.</p>				
<p>Quellen:</p> <p>Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG (2007): Gesundheitliche Bewertung dioxinähnlicher polychlorierter Biphenyle in der Innenraumluft Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz, 50 (11), S. 1-12. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/PCB.pdf</p> <p>AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEf-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf</p> <p>EIKMANN T, HEINRICH U, HEINZOW B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblattsammlung</p> <p>LUA (LANDESUMWELTAMT) (2002): Toxikologische Bewertung polychlorierter Biphenyle (PCB) bei inhalativer Aufnahme. Materialien Nr. 62</p> <p>UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin</p> <p>UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2011): Expositions Betrachtung und Beurteilung des Transfers von Dioxinen, dioxinähnlichen PCB und PCB. Literaturstudie. Forschungskennzahl 3709 72 228. Texte 57/2011</p> <p>UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2015): Analyse und Trendabschätzung der Belastung der Umwelt und von Lebensmitteln mit ausgewählten POPs und Erweiterung des Datenbestandes der POP-Dioxin-Datenbank des Bundes und der Länder mit dem Ziel pfadbezogener Ursachenaufklärung. Forschungskennzahl 3712 65 407 1; Dokumentationen 114/2015</p> <p>UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2017): Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten. Hintergrund, Februar 2017, online unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/dioxine-dioxinahnliche-pcb-in-umwelt-nahrungsketten</p> <p>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 VO 2017/1237, 7/2017</p> <p>VERORDNUNG (EU) Nr. 1067/2013 DER KOMMISSION vom 30. Oktober 2013 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte für Dioxine, dioxinähnliche PCB und nicht dioxinähnliche PCB in Leber von an Land lebenden Tieren. Amtsblatt der Europäischen Union, L 289/56</p> <p>VERORDNUNG (EU) Nr. 1259/2011 DER KOMMISSION vom 2. Dezember 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte für Dioxine, dioxinähnliche PCB und nicht dioxinähnliche PCB in Lebensmitteln. Amtsblatt der Europäischen Union, L 320/18</p>				

Chlorphenole

Chlorphenole sind aufgrund ihrer vielfältigen Anwendungen in technischen Produkten, aber auch ihrer Verwendung als Zwischenprodukt chemischer Synthesen von Farben, Arzneimitteln, Polymeren und Bioziden ubiquitär in der Umwelt vorhanden. Auch in zivilisatorisch wenig beeinflussten Gebieten werden Chlorphenole im Erdboden, in Pflanzen und Mikroorganismen nachgewiesen. Von besonderer Bedeutung ist das Pentachlorphenol (PCP), das in Deutschland bis zum Verbot 1989 im Außen- und Wohnbereich als fungizid wirksames Holzschutzmittel angewendet wurde. Auch die Natriumsalze der Tetrachlorphenole sind zum Schutz frisch geschlagener Hölzer und als Fungizid in Tischlerplatten eingesetzt worden. Chlorphenole, hierbei insbesondere Pentachlorphenol, wurden über viele Jahre angewendet, um Oberflächenverwitterung von Hölzern im Inneren von Gebäuden, im Außenbereich und für Lebensmittel-Verpackungskisten sowie Transportpaletten zu vermeiden. Aufgrund eines unterschiedlichen Chlorierungsgrades und wegen der verschiedenen Chlorpositionen zur funktionellen Gruppe gibt es 19 kongenere Strukturen für Chlorphenole mit sehr unterschiedlichen physikochemischen und toxischen Eigenschaften. Die sehr unterschiedlichen physikochemischen und chemischen Eigenschaften der Chlorphenole gehen auf die unterschiedliche Ausprägung der Salzbildung (stark pH-abhängig) in wässrigen Systemen und der Substitution der Aromatenwasserstoffe durch voluminöse Chloratome zurück. Bemerkenswert ist die hohe Wasserdampflichkeit der Chlorphenole.

2,3,4,5,6-Pentachlorphenol (PCP) (C₆Cl₅OH)

Bezeichnung	2,3,4,5,6-Pentachlorphenol (PCP) (CAS-Nr.: 87-86-5)
Vorkommen	Pentachlorphenol (PCP) ist eine organische Substanz mit phenolischem Geruch. Es ist mäßig flüchtig und in saurem Milieu nimmt die Löslichkeit in Wasser ab. PCP kommt nicht natürlich in der Umwelt vor. Es wurde als biozider Wirkstoff in Holzschutzmitteln, Kühlschmierstoffen, zur Farbkonservierung und in der Leder-, Textil- und Klebstoffindustrie verwendet. Seit 1989 besteht ein Herstellungs-, Inverkehrbringungs- und Anwendungsverbot für PCP. PCP können mit PCDD/F verunreinigt sein. PCP können auch durch mikrobiellen Abbau aus chlorhaltigen Pestiziden entstehen. PCP kann sich über die Nahrungskette besonders in Fischen und Vögeln anreichern.
Humantoxikologische Bewertung	PCP beeinflusst den Prozess der zellulären Energieversorgung durch die Entkopplung der oxidativen Phosphorylierung. Durch diese gewebeunspezifischen Effekte können durch PCP verursachte Wirkungen im gesamten Körper auftreten und unterschiedliche toxische Effekte hervorrufen. Für die Beurteilung von PCP relevante toxikologische Endpunkte sind besonders die fruchtschädigende Wirkung, die Störung des Schilddrüsenhormonhaushaltes, immunologische Wirkungen und die Effekte auf Leber, Niere und das Blutbild. Die Effekte auf die Schilddrüse gelten aktuell als die sensibelsten. Im Vergleich mit Berechnungen kanzerogener Wirkungen wurden jedoch die schlecht abgesicherten Daten zur Kanzerogenität beurteilungsbestimmend.
Quantifizierung der Wirkung	<i>Quelle: UBA 1999ff</i>
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 3 µg/(kg KG*d) (Schilddrüseneffekte, endokrine Effekte) Resorption: 100 % SF (a,b,c,d): 1000 (1, 10*,10,10) (* wurde 2005 auf 3 reduziert)
orale Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 0,08 µg/(kg KG*d) (UR-) Resorption: -
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: nicht abgeleitet
inhalative Aufnahme – kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : entfällt

Nutzungsszenarien	In den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeittflächen bestimmen die kanzerogenen Wirkungen nach oraler Aufnahme die Ableitung der Bodenwerte. Für die Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze konnten für die inhalative Aufnahme keine Berechnungen durchgeführt werden, da hierfür keine abgesicherten Bewertungsgrundlagen vorliegen. Prüfwerte für Industrie- und Gewerbegrundstücke wurden daher zunächst nicht abgeleitet, bzw. pragmatisch festgelegt (vgl. BBodSchV bzw. MantelVo/BBodschV). In Nutzgärten dominiert der Verschmutzungspfad die Schadstoffzufuhr über den Verzehr von Gemüse und Obst.
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> Die Kanzerogenität nach oraler Aufnahme bestimmt die PCP-Beurteilung Für PCP wurden auch Betrachtungen einer möglichen perkutanen Aufnahme mit Hilfe von Expositionsannahmen überprüft, die dermale Verfügbarkeit des PCP durch die Bindung an Boden anscheinend kaum beeinflusst wird. Im Ergebnis kommt der perkutanen Aufnahme jedoch nur eine untergeordnete Rolle zu. Für Industrie und Gewerbegrundstücke wurde der Prüfwert, orientierend an der oralen Aufnahme pragmatisch festgelegt. Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch liegen keine Beurteilungsmaßstäbe vor.
Beurteilungswerte Bodenluft	geringe Bedeutung (vgl. UBA 1999ff)
Richtwerte für Raumluft	Richtwert I: 0,0001 mg/m ³ Richtwert II: 0,001 mg/m ³ (UBA 1997)
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): <u>Hintergrund:</u> < 0,1 mg/kg <u>Normalwert:</u> < 0,3 mg/kg <u>Auffälligkeitswert:</u> 1 mg/kg (unbelastet nach PCP-Richtlinie)
Beurteilungswerte Lebensmittel	- 0,01 mg/kg (allgemeine Höchstmenge in Lebensmittel nach Anlage 5 der Rückstands-Höchstmengenverordnung (RHmV), zuletzt geändert 2010)
Trinkwasser	0,0001 mg/l (Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und Biozidprodukt-Wirkstoffe) als Einzelsubstanz (TrinkwV 2018)
Weitere Verweise	vgl. UBA, EIKMANN, IGS, BfR, etc.

2,3,4,5,6-Pentachlorphenol (PCP) (CAS-Nr.: 87-86-5)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	50 mg/kg	orale Aufnahme	kanzerogen	Resorptionsverfügbarkeit*
Wohngebiet	100 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit*
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
Park- und Freizeitanlage	250 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit*

Industrie- und Gewerbe	250 / 500** mg/kg	orale Aufnahme	kanzerogen	Zugänglichkeit der Fläche, Lage zum Umfeld, Nutzungen im Umfeld prüfen Möglichkeiten sekundärer Verunreinigungen prüfen und Prüfschritte auswählen (ggf. RV oder Feinkornfraktion < 63 µm)
Nutzgarten	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Hausgarten	50 mg/kg	orale Aufnahme	kanzerogen	Resorptionsverfügbarkeit*
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
				Anbaufläche, Anbau- und Verzehrgeohnheiten
Sport-Bolzplatz	k.A.	---	---	Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
<p>*) Die Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit wurde zwar im Rahmen der Überprüfung der DIN 19738 validiert, allerdings zählt die Untersuchung dieses Parameters nicht zu den praxisüblichen Verfahren, so dass die laborseitige Machbarkeit im Vorfeld zu klären ist. Ein Forschungsvorhaben mit Screeninguntersuchungen zur Implementierung der DIN 19738 und Bewertung der Resorptionsverfügbarkeit von organischen Schadstoffen im Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung läuft derzeit beim UBA unter der FKZ 3718 74 299 0</p> <p>**) abweichender Wert in der MantelVO/BBodSchV</p>				
<p>Quellen:</p> <p>AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEf-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf</p> <p>EIKMANN T, HEINRICH U, HEINZOW B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblattsammlung</p> <p>PCP-Richtlinie (1996): Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP_)belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden. Online: https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/II4/PCP-Richtlinie.pdf</p> <p>Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung vom 10. November 1992 (BGBl. I S. 1887), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. November 2013 (BGBl. I S. 4020) geändert worden ist</p> <p>RHmV - Rückstands-Höchstmengenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Oktober 1999 (BGBl. I S. 2082; 2002 I S. 1004), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. März 2010 (BGBl. I S. 286) geändert worden ist.</p> <p>UBA (HBM-KOMMISSION) 2009): Stoffmonografie Chlorphenole - Referenzwerte Stellungnahme der Kommission „Human Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes, Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz Bd. 52 (10), S. 897-1001, Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/refwerte_chlorphenole_urin_kin-der_2009.pdf</p> <p>UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin</p> <p>UBA-AIR: Richtwerte für Innenraumluft, aktuell unter online: (https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/bilder/dateien/0_ausschuss_fuer-innenraumrichtwerte_empfehlungen_und_richtwerte_20190128_0.pdf)</p>				

Chlorbenzole

Die chlosubstituierten Benzole leiten sich vom Benzol ab, bei dem ein oder mehrere Wasserstoffatome durch ein Chloratom ersetzt werden. Auf diese Weise ergeben sich 12 verschiedene Verbindungen, die sich in Substitutionsgrad und Symmetrie voneinander unterscheiden. Man unterscheidet nach der Anzahl der Chloratome und deren Position am Ring in:

- Monochlorbenzol,
- Dichlorbenzole
(Strukturisomere 1,2-Dichlorbenzol, 1,3-Dichlorbenzol, 1,4-Dichlorbenzol),
- Trichlorbenzole,
(Strukturisomere 1,2,3-Trichlorbenzol, 1,2,4-Trichlorbenzol, 1,3,5-Trichlorbenzol),
- Tetrachlorbenzole
(Strukturisomere 1,2,3,4-Tetrachlorbenzol, 1,2,3,5-Tetrachlorbenzol, 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol)
- Pentachlorbenzol
- Hexachlorbenzol

Chlorbenzole finden oder fanden in der Vergangenheit vielfache Verwendungen, beispielsweise als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Arzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln, Desinfektionsmitteln, Konservierungsstoffen, Farbstoffen, etc. Aufgrund ihrer meist geringen Abbaubarkeit können Chlorbenzole im Boden oder anderen Umweltmedien vorkommen, auch wenn für einige Vertreter (z.B. HCB) seit vielen Jahren ein Anwendungsverbot besteht.

Hexachlorbenzol (C₆Cl₆)

Bezeichnung	Hexachlorbenzol (HCB) (CAS-Nr.: 118-74-1)
Vorkommen	Hexachlorbenzol (HCB) ist eine organische Substanz ohne natürlichen Vorkommens. HCB wurde zur Behandlung von Saatgut verwendet und es entsteht bei der Herstellung verschiedener chlorhaltiger Industriechemikalien. HCB kann mit PCDD/F verunreinigt sein. Aufgrund seiner Lipophilie und hohen Persistenz kann sich HCB in der Nahrungskette anreichern. Im Körper sowie in der Muttermilch reichert sich HCB aufgrund der schlechten biologischen Abbaubarkeit an. Für HCB besteht ein vollständiges Anwendungsverbot.
Humantoxikologische Bewertung	HCB verursachen nach oraler Exposition eine vermehrte Bildung bestimmter Porphyrine in der Leber und Leberschäden sowie neurotoxische Wirkungen, im Tierversuch insbesondere auch reproduktionstoxische und immunotoxische Wirkungen, die sich im Vergleich als die sensibelsten Endpunkte erwiesen. Die Wirkung nach inhalativer Aufnahme ist schlecht untersucht.
Quantifizierung der Wirkung	<i>Quelle: UBA 1999ff</i>
orale Aufnahme - toxisch	TRD: 30 ng/(kg KG*d) (Reproduktionstoxizität) Resorption: 100 % SF (a,b,c,d): 3000 (10, 10, 3,10)
orale Aufnahme - kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : 0,006 µg/(kg KG*d) (UR-) Resorption: -
inhalative Aufnahme - toxisch	TRD: nicht abgeleitet
inhalative Aufnahme – kanzerogen	Krebsrisiko 10 ⁻⁵ : entfällt

Nutzungsszenarien	In den Nutzungsszenarien Kinderspielflächen, Wohngebiete und Park- und Freizeittflächen bestimmen die toxischen Wirkungen nach oraler Aufnahme die Ableitung der Bodenwerte. Für die Nutzungsszenarien Industrie- und Gewerbegrundstücke sowie Sport- und Bolzplätze konnten für die inhalative Aufnahme keine Berechnungen durchgeführt werden, da hierfür keine abgesicherten Bewertungsgrundlagen vorliegen. Prüfwerte für Industrie- und Gewerbegrundstücke wurden daher zunächst nicht abgeleitet, bzw. pragmatisch festgelegt (vgl. BBodSchV bzw. MantelVo/BBodschV). In Nutzgärten dominiert der Verschmutzungspfad die Schadstoffzufuhr über den Verzehr von Gemüse und Obst.
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> Für Industrie und Gewerbegrundstücke wurde der Prüfwert, orientierend an der oralen Aufnahme pragmatisch festgelegt. Für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch liegen keine Beurteilungsmaßstäbe vor.
Beurteilungswerte Bodenluft	geringe Bedeutung (vgl. UBA 1999ff)
Richtwerte für Raumluft	-
Beurteilungswerte Innenraumluft (Staub)	Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (AGÖF 2004): <u>Hintergrund:</u> < 0,1 mg/kg <u>Normalwert:</u> < 0,1 mg/kg <u>Auffälligkeitswert:</u> 0,1 mg/kg
Beurteilungswerte Lebensmittel	- 0,3 mg/kg Tabakerzeugnisse - 0,01 mg/kg (allgemeine Höchstmenge in Lebensmittel nach Anlage 5 der Rückstands-Höchstmengenverordnung (RHmV), zuletzt geändert 2010)
Trinkwasser	0,0001 mg/l (Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und Biozidprodukt-Wirkstoffe) als Einzelsubstanz (TrinkwV 2018)
Weitere Verweise	vgl. UBA, EIKMANN, IGS, BfR, etc.

Hexachlorbenzol (HCB) (CAS-Nr.: 118-74-1)				
Nutzungsszenario	Prüfwert BBodSchV	Relevanter Aufnahmepfad	Wirkendpunkt	Untersuchungsmethode zur Expositionsabschätzung
Kinderspiel	4 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit*
Wohngebiet	8 mg/kg			nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
				Resorptionsverfügbarkeit*
Park- und Freizeitanlage	20 mg/kg			Resorptionsverfügbarkeit*
Industrie- und Gewerbe	200 mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Zugänglichkeit der Fläche, Lage zum Umfeld, Nutzungen im Umfeld prüfen Möglichkeiten sekundärer Verunreinigungen prüfen und Prüfschritte auswählen (ggf. RV oder Feinkornfraktion < 63 µm)
Nutzgarten	0,5** mg/kg	Verschmutzung / Gaspfad	toxisch	Anbaufläche, Anbau- und Verzehrsgewohnheiten
Hausgarten	4 / 0,5** mg/kg	orale Aufnahme	toxisch	Resorptionsverfügbarkeit*

				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
				Anbaufläche, Anbau- und Verzehrgeohnheiten
Sport-Bolzplatz	k.A.	---	---	Feinkornfraktion < 63 µm
				nutzungsabhängige Expositionsbedingungen
<p>*) Die Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit wurde zwar im Rahmen der Überprüfung der DIN 19738 validiert, allerdings zählt die Untersuchung dieses Parameters nicht zu den praxisüblichen Verfahren, so dass die laborseitige Machbarkeit im Vorfeld zu klären ist. Ein Forschungsvorhaben mit Screeninguntersuchungen zur Implementierung der DIN 19738 und Bewertung der Resorptionsverfügbarkeit von organischen Schadstoffen im Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung läuft derzeit beim UBA unter der FKZ 3718 74 299 0</p> <p>**): Es wird angenommen, dass für HCB der systemische Pfad über die Wurzel in andere Pflanzenteile in gewissem Umfang möglich ist, aber von untergeordneter Bedeutung ist. Die Aufnahme der lipophilen Substanz über die Cuticula der Blätter (Verschmutzung und Aufnahme durch die Luft) spielt eine wesentlichere Rolle. Die Verflüchtigung von HCB aus dem Boden kann eine bedeutende Kontaminationsquelle für oberirdische Pflanzenteile sein. Die HCB-Gehalte von Pflanzen, die auf HCB-kontaminierten Böden wachsen, sind umso höher, je näher sie am Boden wachsen und je größer die Blattoberfläche ist. So wurde ein Prüfwert für HCB von 0,5 mg/kg Boden für Grünland mit dem Schutzziel Futtermittelqualität abgeleitet (MantelVO/BBodSchV).</p>				
<p>Quellen:</p> <p>AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) (2004): AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub (Fassung Frühjahr 2004) Online: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEf-Hausstaub-Orientierungswerte-2004.pdf</p> <p>EIKMANN T, HEINRICH U, HEINZOW B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblattsammlung</p> <p>Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung vom 10. November 1992 (BGBl. I S. 1887), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. November 2013 (BGBl. I S. 4020) geändert worden ist</p> <p>RHmV - Rückstands-Höchstmengenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Oktober 1999 (BGBl. I S. 2082; 2002 I S. 1004), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. März 2010 (BGBl. I S. 286) geändert worden ist.</p> <p>UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1999ff): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Loseblattsammlung 1999 mit Ergänzungen, Berlin</p>				

Per- und polyfluorierte Chemikalien

Perfluorierte Tenside (PFT) können unterteilt werden, in die Perfluoralkylsulfonsäuren (PFAS, z.B. Perfluoroktansulfonsäure (PFOS)), Perfluorcarbonsäuren (PFCA, z.B. Perfluoroktansäure (PFOA)) und die Fluortelomeralkohole (FTOH). Die OECD listet insgesamt 853 verschiedene Perfluorierte Chemikalien (PFC) auf, darunter 369 Stoffe, die auf Perfluorsulfonsäuren oder Perfluorcarbonsäuren zurückgehen (UBA 2009).

Perfluorpentansäure (PFPA), Perfluorhexansäure (PFHxA) und Perfluorhexan-sulfonsäure (PFHxS) als Vertreter der Stoffgruppe der PFC gelangen ausschließlich aus anthropogenen Quellen im Zusammenhang mit der Herstellung und der mannigfaltigen Anwendungen dieser Substanzen, ihrer Derivate sowie der Fluorpolymere in die Umwelt. Aufgrund ihrer hohen thermischen und chemischen Stabilität persistieren sie langfristig. Sie finden sich in geringen Mengen in fast allen belebten und unbelebten Umweltkompartimenten. Die wasserlöslichen, aber wenig flüchtigen perfluorierten Alkylcarbonsäuren liegen in der Umwelt bevorzugt in aquatischen Systemen vor, weniger in der Atmosphäre (Quelle: NIS 2008). Grundsätzlich zeigen sich Abhängigkeiten von der molekularen Struktur. Kurzkettige PFC, wie die hier zu betrachtenden Vertreter PFPA, PFHxA und PFHxS adsorbieren weniger an Partikel, zeichnen sich deshalb durch eine höhere Bodenmobilität aus und können bereits vermehrt im Oberflächen- und Grundwasser nachgewiesen werden (UBA 2009).

Die Allgemeinbevölkerung nimmt PFT wahrscheinlich hauptsächlich auf oralem Weg mit dem Trinkwasser und der Nahrung auf. Aufnahmemöglichkeiten bestehen generell aber auch auf inhalativem Wege und über Hautkontakt.

Untersuchungen haben gezeigt, dass selbst die Aufnahme von relativ gering mit PFC belastetem Trinkwasser zu signifikant erhöhten und in Human-Biomonitoring messbaren PFC-Werten im Blut führen kann (TWK 2007). Eine Studie mit Anglern des Mönesees hat gezeigt, dass auch der Fischkonsum einen Einfluss auf die Blutkonzentration an PFOS (einem Hauptvertreter der PFT, s.o.) haben kann.

Über die Lunge gelangen PFT (wie Fluortelomeralkohole), die sich in der Innenraumluft oder in der Atmosphäre befinden, in den Körper. Mit PFT veredelte Textilien (Polstermöbel, Sitzbezüge oder Teppiche) können zu einer erhöhten Konzentration der Bestandteile in der Innenraumluft und auch im Hausstaub beitragen (UBA 2009).

Eine aktuelle Studie kommt zu dem Ergebnis, dass weniger als ein Prozent der täglichen Dosis an PFOS und PFOA durch die Haut aufgenommen werden, beispielsweise durch Tragen beschichteter oder mit Membranen ausgerüsteter Kleidungsstücke (Gore-tex®-Regenjacken, Schuhe usw.) (UBA 2009).

PFT zeigen eine sehr hohe Verharrungs- und Kumulationstendenz in Blut und Leber, die insbesondere bei Vertretern mit mehr als acht C-Atomen beobachtet wird. Kurzkettige PFT zeigen ein geringeres Anreicherungs-potenzial im Körper, sind aber ebenfalls nicht abbaubar. Es wird ein aktiver Transport in andere Organe und transplazentare Weitergabe vermutet (TWK 2007; UBA 2009).

PFOA und PFOS zeigen eine moderate akute Toxizität. Im Tierversuch wurden bei längerfristiger Exposition gegenüber PFOA oder PFOS meist Lebervergrößerungen und -schäden beobachtet. Für PFOA wird die Wirkung auf die Leber als der kritische Effekt für den Menschen eingeschätzt.

Für PFT stehen nach langfristiger Exposition Effekte auf die Leber sowie den Lipidstoffwechsel (Peroxisomen-Proliferation) kritisch im Vordergrund. Von der ATSDR (2009) wird jedoch die Datenlage der betrachteten PFT nicht als ausreichend erachtet, um sogenannte Minimal Risk Levels (MRL) zur humantoxikologischen Wirkung einzelner Vertreter oder der Stoffgruppe ableiten zu können. Als Begründung werden mangelnde Humandaten, die beobachteten großen speziesspezifischen Unterschiede sowie die offenen Fragen zum Wirkmechanismus angegeben.

Vom BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) (2006) sowie der Trinkwasserkommission des UBA (TKW 2006) wurde dagegen basierend auf Tierstudien zur allgemeinen Toxizität bzw. Peroxisomen-

Proliferation ein TDI-Wert (Tolerable Daily Intake) für PFOS in Höhe von 0,1 µg/(kg KG * d) abgeleitet.

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) hat im Dezember 2018 neue gesundheitliche Bewertungskriterien für PFOA und PFOS abgeleitet (EFSA, 2018), die deutlich niedriger sind als in der letzten Bewertung von 2008 (EFSA, 2008):

- PFOA von 1500 ng/(kg KG*d) auf 0,86 ng/(kg KG*d) (bzw. 6 ng/(kg KG*w)).
- PFOS von 150 ng/(kg KG*d) auf 1,86 ng/(kg KG*d) (bzw. 13 ng/(kg KG*w)).

Das BfR weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es sich bei den neuen TWI (Tolerierbare wöchentliche Aufnahme) für PFOS und PFOA um vorläufige gesundheitliche Bewertungsmaßstäbe handelt (BfR, 2019). Trotz des weiterhin vorhandenen Forschungsbedarfes empfiehlt das BfR, bei zukünftigen Bewertungen von PFOS und PFOA in Lebensmitteln, die vorläufigen gesundheitsbezogenen Bewertungsmaßstäbe der EFSA heranzuziehen. Die EFSA hat bereits angekündigt, im Zuge der Neubewertung weiterer PFC-Verbindungen, eine nochmalige Re-evaluierung dieser Werte vorzunehmen.

Für die PFC, für die keine chronisch-toxikologischen Daten vorliegen, wurde eine semiquantitative stoffspezifische Bewertung auf Basis geschätzter Eliminationshalbwertszeiten (Verbleib im Organismus) als dem vorerst entscheidenden toxikologischen Bewertungskriterium für PFC durchgeführt. Unter anderem spielen dabei Struktur und chemische Eigenschaften der nicht toxikologisch bewerteten zu untersuchenden Stoffe, sowie die Erfahrungswerte (Datenbasis) von toxikologisch hinreichend untersuchten Vertretern der PFT wie PFOA und PFOS eine wesentliche Rolle (KONIETZKA 2010, LANUV 2011). Dazu wurde angenommen, dass die Eliminationshalbwertszeit der perfluorierten Sulfonsäuren in der Reihenfolge (Anzahl der CF_n-Gruppen) wie folgt zunimmt:

$$\text{PFBS}(4) \leq \text{PFPS}(5) \ll \text{PFHxS}(6) = \text{PFHpS}(7) = \text{PFOS}(8)$$

Für perfluorierten Carbonsäuren wurde folgende Reihenfolge für Eliminationshalbwertszeiten angenommen:

$$\text{PFBA}(3) \leq \text{PFPA}(4) \leq \text{PFHxA}(5) \ll \text{PFHpA}(6) = \text{PFOA}(7)$$

Vorschläge für Prüfwerte im Boden liegen bislang nicht vor.

Für die nachstehend aufgeführten per- und polyfluorierte Chemikalien hat das Umweltbundesamt nach Anhörung der Trinkwasserkommission (TWK) im Bundesgesundheitsblatt eine aktualisierte Bewertung von PFC im Trinkwasser mit Leitwerten (TW_{LW}) für sieben der 13 Substanzen sowie gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für die restlichen sechs Verbindungen veröffentlicht (UBA, 2017).

Parameter (Abkürzung)	TW _{LW}	GOW
	[µg/l]	[µg/l]
Perfluorbutansäure (PFBA)	10	
Perfluorpentansäure (PFPeA)		3
Perfluorhexansäure (PFHxA)	6	
Perfluorheptansäure (PFHpA)		0,3
Perfluoroktansäure (PFOA)	0,1	
Perfluorononansäure (PFNA)	0,06	
Perfluordecansäure (PFDA)		0,1
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	6	
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	0,1	

Perfluorheptansulfonsäure (PFHps)		0,3
Perfluoroktansulfonsäure (PFOS)	0,1	
H4-Polyfluoroktansulfonsäure (H4PFOS)		0,1
Perfluoroktansulfonamid (PFOSA)		0,1

Es ist mit weiteren Bewertungen der EFSA zu rechnen.

Quellen / Literatur

- ATSDR (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY) (2018): TOXICOLOGICAL PROFILE FOR PERFLUOROALKYLS. DRAFT FOR PUBLIC COMMENT, June 2018. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service.
<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp200.pdf>
- BfR (BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG) (2006): Hohe Gehalte an perfluorierten organischen Tensiden (PFT) in Fischen sind gesundheitlich nicht unbedenklich. Stellungnahme Nr. 035/2006 des BfR vom 27. Juli 2006. http://www.bfr.bund.de/cm/343/hohe_gehalte_an_perfluorierten_organischen_tensiden_in_fischen_sind_gesundheitlich_nicht_unbedenklich.pdf
- BfR (BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG) (2008): Gesundheitliche Risiken durch PFOS und PFOA in Lebensmitteln sind nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand unwahrscheinlich. Stellungnahme 004/2009 des BfR vom 11. September 2008. http://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitsliche_risiken_durch_pfos_und_pfoa_in_lebensmitteln.pdf
- BfR (BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG) (2019): Neue gesundheitsbezogene Richtwerte für die Industriechemikalien PFOS und PFOA. Stellungnahme Nr. 032/2019 des BfR vom 21. August 2019 <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/neue-gesundheitsbezogene-richtwerte-fuer-die-industriechemikalien-pfos-und-pfoa.pdf>
- EFSA (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY) (2008): Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2008.653>
- EFSA (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY) (2018): Minutes of the expert meeting on perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food assessment <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/news/efsa-contam-3503.pdf>
- HÄHNLE, J. (LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NrW) (2010): „Ersatz von perfluorierten Tensiden durch neue polyfluorierte Tenside in AFFF-Feuerlöschschaummitteln – Nachweisproblematik und Umweltrelevanz“. UBA –Fachgespräch „Poly- und perfluorierte Chemikalien (PFC) in Feuerlöschmitteln“, Dessau 17.09.2010, http://www.fluorfreier-schaum.ch/data/documents/haehnle_ersatz_perfluorierte_tenside_durch_polyfluorierte_tenside.pdf
- IFUA (2007) Pilotuntersuchungen zu Vorkommen und Auswirkungen von perfluorierten Tensiden (PFT) in Abfällen, die der BioAbfV unterliegen. http://www.lanuv.nrw.de/verbraucher/pdf/ifua_pft_bericht.pdf
- KONIETZKA, R., H. H. DIETER (UMWELTBUNDESAMT) (2010) : „Zur Toxikologie poly- und perfluorierter Chemikalien“. UBA –Fachgespräch „Poly- und perfluorierte Chemikalien (PFC) in Feuerlöschmitteln“, Dessau 17.09.2010, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/362/dokumente/konietzka_dieter_zur-toxikologie_poly-_und_perfluorierter_chemikalien.pdf
- LANUV (LANDESAMT FÜR NATUR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ) (2011): Verbreitung von PFT in der Umwelt. Ursachen – Untersuchungsstrategie – Ergebnisse – Maßnahmen. LANUV-Fachbericht 34 https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30034.pdf
- NIS (Noxen-Informationssystem für den ÖGD) (2008): NIS 4.11 - Online Version, August 2011. Perfluorhexansäure und wasserlösliche Salze / Perfluorhexansulfonsäure und wasserlösliche Salze. <http://www.noxen.de>
- NTP (NATIONAL TOXICOLOGICAL PROGRAM) (2005): National Toxicology Program, Datenbank-Hersteller: National Institute of Environmental Health Sciences Perfluorohexanoic acid (PFHXA), 2005, Online: <https://ntp.niehs.nih.gov/getinvolved/nominate/substances/index.html#P>

- TWK (TRINKWASSERKOMMISSION) (2006): Bewertung von PFOA im Trinkwasser des Hochsauerlandkreises. Stellungnahme der Trinkwasserkommission vom 21.06.06/überarbeitet am 13.7.06; Vorläufige Bewertung von Perfluorierten Tensiden (PFT) im Trinkwasser am Beispiel ihrer Leit-substanzen Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS). <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/pft-im-trinkwasser.pdf>
- TWK (TRINKWASSERKOMMISSION) (2007): Aktuelle gesundheitliche und gewässerhygienische Bewertung perfluorierter Verbindungen (PFC). Stellungnahme der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit vom 07.08.07 <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/fazit-hbm-studie-pft.pdf>
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 46, 249-251 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/gow-empfehlung_2003_46.pdf
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2009): Per- und Polyfluorierte Chemikalien. Einträge vermeiden - Umwelt schützen. Presse-Hintergrundpapiere 2009, Kennnummer 3812. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3812.html>
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2017): Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser. Bundesgesundheitsblatt 2017 - 60:350 - 352 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/fortschreibung_der_uba-pfc-bewertungen_bundesgesundheitsbl_2017-60_s_350-352.pdf
- WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION) (2009): WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Policies and Procedures used in updating the WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/HSE/WSH/09.05. http://whqlibdoc.who.int/hq/2009/WHO_HSE_WSH_09.05_eng.pdf
- WICHMANN HE, SCHLIPKÖTER HW, FÜLGRAFF G (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin: Toxikologie, Epidemiologie, Hygiene, Belastungen, Wirkungen, Diagnostik, Prophylaxe. Landsberg: Ecomed Verlagsgesellschaft, 38. Erg. Lfg. 12/07. Loseblattsammlung

Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

Als Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) werden die im Wesentlichen nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen aufgebauten organischen Verbindungen in Rohöl sowie in den durch Aufarbeitung dieses Rohstoffs (z. B. Raffination) erhaltene Produkte (z. B. Benzin, Diesel, Schmieröl) zusammengefasst. Im Rohöl sind hauptsächlich aliphatische (geradkettige, verzweigte, zyklische) und aromatische (ein- und mehrringige) Kohlenwasserstoffe enthalten, die je nach Herkunft unterschiedlich verteilt sind. Die Konzentration an aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen in den Erdölprodukten hängt somit von der Zusammensetzung des Rohöls sowie von Aufarbeitungs- und Weiterverarbeitungsschritten (z. B. Blending, Additive) ab. Einzelne Stoffe oder Stoffgruppen der MKW sind als toxikologisch relevant zu betrachten (z. B. Benzol, PAK). Die schadstoffspezifischen Expositionspfade hängen insbesondere von den im Gemisch vorhandenen Molekülgrößen bzw. Kettenlängen und den damit verbundenen physikalisch-chemischen Eigenschaften (Flüchtigkeit, Löslichkeit, etc.) ab.

In Verbindung mit den an kontaminierten Standorten angetroffenen Verunreinigungen können die MKW wie folgt klassifiziert werden (LUA 2005, HLUG 2005):

Benzin: enthält hohe Konzentrationen an BTEX und anderen Monoaromaten sowie verzweigten Alkanen, niedrige Konzentrationen an n-Alkanen, Alkenen, Cycloalkanen und Naphthalinen sowie sehr niedrige PAK-Konzentrationen. Es wird somit charakterisiert durch kurzkettige (C5–C10), niedrig siedende (Siedebereich 36–175 °C), leicht flüchtige und gut wasserlösliche (ca. 100 mg/l) Kohlenwasserstoffe. Für Benzin-Kohlenwasserstoffe stehen somit der inhalative Pfad über Ausgasungen aus dem Boden und der orale Pfad durch Trinken von kontaminiertem Wasser (nach Auswaschung aus dem Boden) im Vordergrund.

Kerosin: besteht überwiegend aus n- und iso-Alkanen, Cycloalkanen, und zu einem geringeren Anteil aus Alkylaromaten. Benzol und Toluol kommen in Spuren vor. Kerosin wird charakterisiert durch kurz- bis mittelkettige (C8–C17), leicht flüchtige und relativ gut wasserlösliche (ca. 10–100 mg/l) Kohlenwasserstoffe im mittleren Siedebereich (150–280 °C). Für Kerosin-Kohlenwasserstoffe steht somit der orale Pfad durch Trinken von kontaminiertem Wasser (nach Auswaschung aus dem Boden) im Vordergrund. Des Weiteren ist eine inhalative und orale Aufnahme durch Einatmen und Verschlucken von kontaminiertem Bodenstaub nicht auszuschließen.

Diesel und leichtes Heizöl enthalten hohe Konzentrationen an n-Alkanen, geringere Konzentrationen an verzweigten Alkanen, Cycloalkanen, Monoaromaten und PAK (Naphthalin, Acenaphthen, Phenanthren, Fluoren und andere PAK mit ihren Alkylderivaten) sowie sehr niedrige BTEX-Konzentrationen. Diesel und leichtes Heizöl werden charakterisiert durch mittelkettige (C9–C24), mittelflüchtige und relativ gut wasserlösliche (ca. 5–20 mg/l) Kohlenwasserstoffe im mittleren Siedebereich (160–390 °C). Für diese MKW-Produkte steht somit der orale Pfad durch Trinken von kontaminiertem Wasser (nach Auswaschung aus dem Boden) im Vordergrund. Des Weiteren ist eine inhalative und orale Aufnahme durch Einatmen und Verschlucken von kontaminiertem Bodenstaub nicht auszuschließen.

Schmieröl ist charakterisiert durch mittel- bis langkettige (> C17), schwerflüchtige und schwer wasserlösliche Kohlenwasserstoffe (verzweigte und zyklische Alkane) im hohen Siedebereich (300–525 °C). Schmieröle können als Beimengungen PAK enthalten. Für Schmieröl steht somit der inhalative sowie orale Pfad durch Einatmen und Verschlucken von kontaminiertem Bodenstaub im Vordergrund.

Schweres Heizöl und **Bitumen** sind charakterisiert durch langkettige (> C40), nicht flüchtige und unlösliche Kohlenwasserstoffe im hohen Siedebereich. Für schweres Heizöl und Bitumen stehen somit der inhalative sowie der orale Pfad durch Einatmen und Verschlucken von kontaminiertem Bodenstaub im Vordergrund.

Aus dieser Vielzahl an Einzelsubstanzen mit ihren zum Teil sehr unterschiedlichen Expositionspfaden und toxischen Wirkungen und aus der Tatsache, dass derzeit standardmäßig zumeist nur der Summenparameter KW-Index analysiert wird, ergibt sich eine Schwierigkeit der toxikologischen Beurteilung von MKW Gemischen.

Der Parameter KW-Index erfasst die im Gaschromatogramm zwischen n-Decan C10 und n-Tetracontan C40 auftretenden Kohlenwasserstoffe, die in ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften eine große Bandbreite aufweisen. Zusätzlich werden methodenbedingt bei der Extraktreinigung bestimmte Kohlenwasserstoffgruppen (z. B. PAK) vollständig oder teilweise abgetrennt und analytisch somit nicht erfasst. Um dennoch eine toxikologische Beurteilung zu ermöglichen, ist es daher zielführend, einerseits die Kohlenwasserstoffe in Fraktionen ähnlicher physikalisch-chemischer Eigenschaften einzuteilen und für diese Fraktionen toxikologische Vergleichswerte festzulegen. Andererseits sind in Ergänzung zu den Fraktionen ausgewählte toxikologisch relevante Leitsubstanzen aus den oben genannten Gruppen zu definieren und für diese sind toxikologische Vergleichswerte zur Verfügung zu stellen.

Im Auftrag des UBA wurde daher im Jahr 2005 die Studie „Bewertung von Mineralölkohlenwasserstoffen und Erarbeitung einer Begründung für einen Prüfwert gemäß BBodSchV für den Direktpfad Boden-Mensch“ erarbeitet (vgl. LABO 2017).

Da eine Bewertung von Hunderten von Einzelsubstanzen wegen der fehlenden toxikologischen Daten und wegen des enormen analytischen Aufwandes nicht leistbar ist, werden die MKW gemäß dieser Studie in aliphatische und aromatische (einkernige Aromaten, Naphthalin und alkylsubstituierte Naphthaline) Kohlenwasserstoffe unterteilt. 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.

Im Ergebnis wurden ausschließlich für flüchtige und damit inhalativ wirksame Inhaltsstoffe der MKW Prüfwerte abgeleitet. Eine Bewertung der bisher häufig bestimmten MKW-Summe ‚C10-C40‘ bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch ist damit nicht möglich!

Für die Ableitung der Prüfwerte erfolgte eine Unterteilung der toxikologisch relevanten MKW in folgende **4 aliphatische (AL) und 3 aromatische (AR) Fraktionen**:

MKW-Fraktion	Siedebereich (ca.) °C	Wohngebiete mg/kg TM	Industrie und Gewerbegebiete mg/kg TM
AL 0	> 36 – 69	Keine Prüfwerte abgeleitet [1]	
AL1	> 69 – 128	20	200
AL2	> 128 – 175	30	300
AL3	> 175 – 216	150	1500
AL4	> 216 – 287	700	7000
„C10-C40“	> 175 – 525	Keine Prüfwerte ableitbar [1]	
AR 0	> 69 – 151	Prüfwerte für BTEX-Verbindungen nach [2]	
AR1	> 151 – 175	100	500
AR2	> 175 – 216	20	80
AR3	> 216 – 271	70	350

(Quelle: LABO 2017)

Die Einteilung der Fraktionen nach (LABO 2017) erfolgt dabei mithilfe des Konzeptes der äquivalenten Kohlenstoffzahl (EC-Zahl), die den einzelnen Verbindungen (unabhängig ihrer realen Kohlenstoffzahl) zugewiesen werden. Die EC-Zahl (ECN) bezieht sich auf die Retentionszeiten in einer unpolaren Gaschromatographie-Säule.

Fraktion	Äquiv. Kohlenstoffzahl (ECN)
AL1	> 6 bis 8
AL2	> 8 bis 10
AL3	> 10 bis 12
AL4	> 12 bis 16
AR1	> 9 bis 10
AR2	> 10 bis 12
AR3	> 12 bis 15

Quellen:

DIN EN ISO 11504:2018-01: Bodenbeschaffenheit – Beurteilung der Wirkung von mit Mineralölkohlenwasserstoffen verunreinigten Böden (ISO 11504:2017); Deutsche Fassung EN ISO 11504:2017

EIKMANN T, HEINRICH U, HEINZOW B (Hrsg.) (1999ff): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: ergänzbares Handbuch toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung Berlin: Erich Schmidt Verlag. Loseblattsammlung mit Ergänzungen

UMWELTBUNDESAMT AT (2011): ARBEITSHILFE ZUR EXPOSITIONSABSCHÄTZUNG UND RISIKOANALYSE AN KONTAMINIERTEN STANDORTEN Endbericht zum Arbeitspaket 2 des Projektes „Altlastenmanagement 2010“ (Neuausrichtung der Beurteilung und Sanierung von kontaminierten Standorten), REPORT REP-0351, Wien

LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (2017): Bewertung von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch bei einer potentiellen Belastung über Boden, Bodenluft und Innenraumlufte; LABO-Hilfestellung für den Vollzug. Online: https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_MKW-Bewertung_2017_12.pdf